



Simulador de EGSE (Electric Ground Support Equipment) [TELECOMANDOS] mediante plataforma Software Defined Radio

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

Escuela Politécnica Superior

Grado en Ingeniería en Tecnologías de Telecomunicación

Trabajo de Fin de Grado

Autor: Daniel Rodríguez Mogollón

Tutor: Dr. Víctor P. Gil Jiménez

Octubre, 2015

Dpto. de Teoría de la Señal y Comunicaciones

(En blanco)

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quisiera agradecer a mi tutor, el Dr. Víctor P. Gil Jiménez, la oportunidad que me ha dado para realizar este proyecto y aprender de él, y al Departamento de la Teoría de la Señal y Comunicaciones de la Universidad Carlos III de Madrid por permitirme el uso del laboratorio y todos los materiales.

También quiero darle las gracias a mis compañeros de proyecto, Félix y Fernando, por haber formado un buen equipo y solucionar los problemas todos juntos.

A mis padres y mis hermanas por aportarme apoyo moral y todas las facilidades necesarias para que pudiese culminar los estudios y progresar en mi formación profesional y personal.

A mis amigos, que me han animado siempre en el recorrido hacia mis objetivos.

Y por último a Juanjo, sin él este camino habría sido un poco más complicado y sin duda menos divertido.

(En blanco)

ABSTRACT

The purpose of this work is to research, by SDR (Software Defined Radio) platform, about efficient ways of the data exchange between EGSE (Electric Ground Support Equipment) and OBDH (On Board Data Handling), focused on the first one. The tools that offers the possibility of implementing a SDR system, allow a close to reality imitation of the equipment listed, not only for its internal functions, also because it is able to communicate. Consequently, this Thesis proposes a starting point for future projects related to SDR and/or equipment EGSE.

Both, software and hardware, related to SDR have suffered a great evolution in recent years, which has led to the appearance of a wide range of alternatives available. During this work the material from National Instruments is used: the USRP-2920 as peripheral and LabVIEW as graphical programming tool.

During the execution the choice of messages to be transmitted and different variants are allowed, so there will be a specific attention to each case.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es el estudio, mediante plataforma SDR (Software Defined Radio), de formas eficientes de intercambiar datos entre EGSE (Electric Ground Support Equipment) y OBDH (On Board Data Handling), centrada en la primera parte. Las herramientas que ofrecen la posibilidad de implementar un sistema de SDR, permiten una imitación cercana a la realidad de los equipos mencionados, no solo por sus funciones internas, sino también por la capacidad de comunicación. En consecuencia, esta tesis propone un punto de partida para futuros trabajos relacionados con SDR y/o equipos EGSE.

Tanto el software como el hardware relacionados con SDR han sufrido una gran evolución durante los últimos años, la cual ha desembocado en la aparición de un amplio abanico de alternativas disponibles. Durante este trabajo se utilizará material de la empresa National Instruments: el USRP-2920 como periférico y LabVIEW como herramienta gráfica de programación.

Durante la ejecución se permitirá la elección de los mensajes a transmitir y diferentes variantes, por lo que se hará una atención personalizada para cada caso.

NOTA ACLARATORIA

Siguiendo la normativa del Trabajo de Fin de Grado para el plan 2011 en el Grado en Ingeniería en Tecnología de Telecomunicación, se incluyen en este proyecto los apartados introducción y conclusiones en inglés, junto con un resumen extendido en dicho idioma añadido en el Anexo I.

(En blanco)

CONTENIDO

| | |
|--|----|
| Capítulo 1. Introduction / Introducción | 17 |
| 1.1. English version | 17 |
| 1.1.1. Motivation | 18 |
| 1.1.2. Goals | 19 |
| 1.2. Versión en español | 19 |
| 1.2.1. Motivación | 20 |
| 1.2.2. Objetivos | 21 |
| Capítulo 2. Estado del arte | 22 |
| 2.1. Introducción a SDR | 22 |
| 2.1.1. Historia | 22 |
| 2.1.2. Actualidad | 23 |
| 2.2. Satélites | 23 |
| 2.2.1. Primeros satélites | 24 |
| 2.2.2. Satélites modernos | 24 |
| 2.2.3. Estaciones terrestres | 25 |
| 2.3. Herramientas y hardware para SDR | 25 |
| 2.3.1. Hardware | 25 |
| 2.3.2. Herramientas | 27 |
| 2.4. Aplicaciones | 28 |
| 2.5. Regulación | 28 |
| 2.5.1. ECSS | 28 |
| 2.5.2. CNAF | 29 |
| 2.6. Marco socio-económico | 29 |
| 2.7. Factores tecnológicos sobre SDR | 31 |
| Capítulo 3. Descripción del entorno de trabajo | 33 |
| 3.1. Planteamiento del escenario | 33 |
| 3.1.1. Estación terrestre | 34 |
| 3.2. Telecomandos y telemetría | 34 |
| 3.2.1. Telecomandos | 34 |
| 3.2.2. Telemetría | 35 |
| 3.3. SDR | 35 |
| 3.3.1. LabVIEW | 35 |
| 3.3.2. USRP | 36 |
| Capítulo 4. Desarrollo del simulador | 37 |
| 4.1. Requisitos | 37 |
| 4.2. Transmisión | 39 |
| 4.2.1. Frecuencia | 40 |
| 4.2.2. Modulación | 41 |
| 4.2.3. Encapsulamiento | 41 |

| | |
|--|----|
| 4.2.4. Formato de los paquetes | 41 |
| 4.3. Servicios..... | 43 |
| 4.3.1. Servicio 3: Housekeeping y diagnóstico de datos | 44 |
| 4.3.2. Servicio 5: Eventos | 46 |
| 4.3.3. Servicio 6: Gestión de memoria..... | 47 |
| 4.3.4. Servicio 9: Gestión del tiempo..... | 48 |
| 4.3.5. Servicio 11: Gestión del planificador de telecomandos | 49 |
| 4.3.6. Servicio 12: Monitorización de a bordo..... | 51 |
| 4.3.7. Servicio 15: Test de conexión | 52 |
| 4.3.8. Servicio 32: Instrumento sensor de temperatura | 52 |
| 4.3.9. Servicio 64: Instrumento de imágenes | 53 |
| 4.3.10. Servicio 128: Reiniciar | 54 |
| 4.4. Interfaz de usuario..... | 54 |
| 4.4.1. Control de las entradas y errores | 55 |
| 4.4.2. Decoración | 56 |
| 4.5. Inicio de sesión y registro de actividad | 57 |
| 4.6. Versión definitiva..... | 58 |
| Capítulo 5. Alternativas de diseño | 60 |
| 5.1. Aspectos no tenidos en cuenta | 60 |
| 5.1.1. Números decimales | 60 |
| 5.1.2. Campos del paquete sin utilizar | 60 |
| 5.1.3. Datos de aplicación del estándar..... | 60 |
| 5.2. Posibles mejoras..... | 61 |
| 5.2.1. Unificar recepción y transmisión | 61 |
| 5.2.2. USRP-293X | 61 |
| 5.2.3. Ampliar los datos de aplicación | 61 |
| 5.2.4. Diferenciación segura de usuarios y jerarquía. | 61 |
| Capítulo 6. Resultados y evaluación..... | 63 |
| 6.1. Pruebas..... | 63 |
| 6.1.1. Prueba de transmisión y recepción | 63 |
| 6.1.2. Prueba de formación de paquetes | 64 |
| 6.1.3. Prueba de acceso de usuarios y registro de actividad | 65 |
| 6.2. Evaluación de resultados..... | 66 |
| Capítulo 7. Planificación y presupuesto | 67 |
| 7.1. Planificación..... | 67 |
| 7.2. Presupuesto..... | 69 |
| Capítulo 8. Conclusions / Conclusiones..... | 72 |
| 8.1. English version..... | 72 |
| 8.1.1. Future research and development | 73 |
| 8.2. Versión en español | 74 |
| 8.2.1. Líneas futuras de investigación y desarrollo | 76 |

| | |
|--|----|
| Bibliografía | 77 |
| Anexo I – Extended abstract / Resumen extendido..... | 79 |
| Anexo II – Servicios..... | 92 |
| Anexo III – Manual de usuario | 98 |

ILUSTRACIONES

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 1 | Gráfico Evolución de la Población Española (Fuente: Instituto Nacional de Estadística -INE-) | 29 |
| Figura 2 | Población Española 2015 (Fuente: INE) | 29 |
| Figura 3 | Gráfico Crecimiento Natural Población Española (Fuente: INE) | 30 |
| Figura 4 | Situación Población Activa Española (Fuente: INE) | 30 |
| Figura 5 | Evolución Economía Española PIB (Fuente: INE) | 31 |
| Figura 6 | Escenario | 33 |
| Figura 7 | Estructura de un paquete de telecomando | 34 |
| Figura 8 | Diagrama de bloques de la función "sub_Send.vi" | 35 |
| Figura 9 | USRP modelo 2920 | 36 |
| Figura 10 | Panel frontal de "USRP Packet Transmitter.vi" | 39 |
| Figura 11 | Entradas y salidas de "sub_Generate_Packet.vi" sin modificar | 39 |
| Figura 12 | Diagrama de bloques de "sub_Text_toBitstream.vi" sin modificar | 40 |
| Figura 13 | Diagrama de bloques de "sub_Text_to_Bitstream.vi" adaptado y renombrado como "sub_n_packets.vi" | 40 |
| Figura 14 | Símbolos transmitidos en la modulación BPSK | 41 |
| Figura 15 | Entradas y salidas de "sub_Send.vi" | 41 |
| Figura 16 | Cabecera del paquete | 42 |
| Figura 17 | Campo de datos del paquete | 42 |
| Figura 18 | Sección del diagrama de bloques principal (doble estructura Case para el telecomando (3, 1)) | 44 |
| Figura 19 | Diagrama de bloques de "sub_dec_to_bin.vi" | 44 |
| Figura 20 | Datos de aplicación del telecomando (3, 1) | 45 |
| Figura 21 | Datos de aplicación del telecomando (3, 8) | 46 |
| Figura 22 | Datos de aplicación del telecomando (5, 5) | 46 |
| Figura 23 | Datos de aplicación del telecomando (6, 1) | 47 |
| Figura 24 | Datos de aplicación del telecomando (9, 1) | 48 |
| Figura 25 | Datos de aplicación del telecomando (11, 4) | 50 |
| Figura 26 | Datos de aplicación del telecomando (11, 5) | 50 |
| Figura 27 | Datos de aplicación del telecomando (11, 6) | 50 |
| Figura 28 | Datos de aplicación del telecomando (11, 7) | 51 |
| Figura 29 | Datos de aplicación del telecomando (12, 1) | 51 |
| Figura 30 | Datos de aplicación del telecomando (32, 3) | 53 |
| Figura 31 | Datos de aplicación del telecomando (64, 3) | 54 |
| Figura 32 | Sección del panel frontal con la selección de servicios | 55 |
| Figura 33 | Entradas y breve descripción para el telecomando (3, 5) | 55 |
| Figura 34 | Fecha incorrecta para el telecomando (9, 1) | 56 |
| Figura 35 | Diagrama de bloques para el cierre de la aplicación con sonido | 56 |

| | | |
|------------------|---|-----|
| Figura 36 | Panel frontal definitivo sin log del último comando transmitido. | 57 |
| Figura 37 | Ventana emergente de inicio de sesión..... | 57 |
| Figura 38 | Diagrama de bloques de “sub_Create_Log.vi”. | 58 |
| Figura 39 | Ventana emergente de inicialización..... | 58 |
| Figura 40 | Panel frontal definitivo del VI principal..... | 59 |
| Figura 41 | Construcción del telecomando (11, 4) | 65 |
| Figura 42 | Diagrama de Gantt. | 69 |
| Figura 43 | Global scenario (Source: [6] – figure 8.1 edited) / Escenario global (Fuente: [6] – figura 8.1 editada)..... | 80 |
| Figura 44 | VIs hierarchy / Jerarquía de VIs..... | 83 |
| Figura 45 | Kit USRP. | 98 |
| Figura 46 | USRP conectado. | 99 |
| Figura 47 | Ventana de NI-USRP Configuration Utility. | 99 |
| Figura 48 | Botones de control de ejecución de LabVIEW. | 100 |
| Figura 49 | Solicitud de credenciales..... | 100 |
| Figura 50 | Datos incorrectos. | 100 |
| Figura 51 | Datos correctos. | 101 |
| Figura 52 | Pestaña de ajustes..... | 101 |
| Figura 53 | Pestaña del servicio 11..... | 102 |
| Figura 54 | Comprobación de cierre..... | 103 |

TABLAS

| | | |
|-----------------|--|----|
| Tabla 1 | Clasificación de los satélites según su tamaño. | 24 |
| Tabla 2 | Características de diferentes periféricos para la plataforma SDR. | 25 |
| Tabla 3 | Pruebas de transmisión y recepción. | 63 |
| Tabla 4 | Desglose Tareas del Proyecto. | 68 |
| Tabla 5 | Costes Materiales. | 70 |
| Tabla 6 | Costes Personal. | 70 |
| Tabla 7 | Costes Directos. | 71 |
| Tabla 8 | Presupuesto del Proyecto. | 71 |
| Tabla 9 | Tests results | 84 |
| Tabla 10 | Satisfaction level. | 85 |
| Tabla 11 | Resultados de las pruebas. | 90 |
| Tabla 12 | Nivel de satisfacción. | 91 |
| Tabla 13 | Resumen de telecomandos y telemetría. | 94 |

ACRÓNIMOS Y SIGLAS

| Acrónimo/sigla | Definición y traducción |
|----------------|---|
| UC3M | Universidad Carlos III de Madrid |
| SDR | Software Defined Radio/Radio Determinada por Software |
| EGSE | Electric Ground Support Equipment/Equipo Eléctrico Terrestre de Apoyo |
| OBDH | On Board Data Handling/Control de Datos de A Bordo |
| Tx | Transmisión |
| Rx | Recepción |
| ECSS | European Cooperation for Space Standardization/Unidad Europea para la Estandarización Espacial |
| USRP | Universal Software Radio Peripheral/Periférico Universal de Software Radio |
| GPS | Global Positioning System/Sistema de Posicionamiento Global |
| PC | Personal Computer/Computadora Personal |
| DSP | Digital Signal Processing/Procesado Digital de Señales |
| EEUU | Estados Unidos |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers/Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica |
| FPGA | Field Programmable Gate Array/Placa de Matriz de Conexiones Programable |
| JTRS | Joint Tactical Radio System/Unidad Táctica de Sistema Radio |
| GSM | Global System for Mobile communications/Sistema Global para comunicaciones Móviles |
| CNAF | Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias |
| INE | Instituto Nacional de Estadística |
| PIB | Producto Interior Bruto |
| TC | Telecomando |
| TM | Telemetría |
| VI | Virtual Instrument/Instrumento Virtual |
| MIMO | Multiple Input Multiple Output/Entrada Múltiple Salida Múltiple |
| BPSK | Binary Phase Shift Keying/Modulación por Desplazamiento de Fase Binaria |
| CCSDS | Consultative Committee for Space Data Systems/Comité Consultivo para Sistemas de Datos Espaciales |
| APID | Application Process ID/ID del Proceso de Aplicación |

| | |
|------------|---|
| ACK | Acknowledgement/Reconocimiento |
| PEC | Packet Error Control/Control de Error del Paquete |
| SID | Structure ID/ID de Estructura |
| RID | Report ID/ID de Informe |
| RAM | Random Access Memory/Memoria de Acceso Aleatorio |
| ROM | Read Only Memory/Memoria de Sólo Lectura |
| OBT | On-Board Time/Tiempo de A Bordo |

Capítulo 1.

INTRODUCTION / INTRODUCCIÓN

1.1. English version

This document explains how EGSE (Electric Ground Support Equipment) simulator works and the feasibility of its implementation.

The project that constitutes this Final Degree Thesis develops the implementation, on a SDR (Software Defined Radio) platform, of the complete transmission (Tx) and reception (Rx) of the information that communication ground stations employ to control a station in orbit by using remote controls. Everything displayed here is part of a package composed of the work developed by two students representing as a whole each of the components of the communication: remote controls (base-satellite communication), telemetry (satellite-base communication), and resource and device management within the satellite. To better understand this scenario, each section will be explained in detail, as well as the platform and peripherals used to develop the work.

When choosing a device to work with, we find in the NI USRP (Universal Software Radio Peripheral) the appropriate tools for the problem to be solved. First, this peripheral has been chosen because it is an easily configurable and capable of transmitting and receiving signals device and process the information obtained through this reception. And secondly, because its processing capacity will be, approximately, the same as the station in orbit, allowing to adapt in all aspects to a real situation, since it is a SDR platform that can simulate all the devices that will be connected to the satellite.

Once the latter selected, National Instruments provides the LabVIEW platform, which allows us to dump a specific programming into the devices. LabVIEW also offers a wide range of modulation types that will be used as a basis to carry out the work.

With all the equipment ready, it only remains to establish the necessary remote controls for the functions that will be defined afterwards, based on the standard [1] provided by the ECSS (European Cooperation for Space Standardization). Among these, the necessary commands to have a system with error control will be included, to overcome all the problems that may arise.

Finally, the possibility to build and launch all this set will be analysed, using schedules for each activity and budgets of the materials, and then drawing conclusions about the work.

1.1.1. Motivation

Technology and communications have evolved in recent years to allow transmission of information anywhere, and today, the use of Earth orbits to locate communications satellites is a common practice among the leading institutions of the sector. However, the functionality of these devices is not restricted to the communications scope; it is also used in other applications due to their usefulness, such as location (GPS -Global Positioning System- or Galileo systems), space observation or aerial photographs. In all the situations, the basis of communication between the base station and the space station is the same.

These applications allow new business opportunities to arise. For example, offering a service of real-time images over some areas of our planet. Thus, there is high interest in correctly programming all devices and optimize the exchange of information, where a malfunction could cause great losses, not only for the outage, but also for the price of building a new satellite. Usually this practice is chosen because the cost to repair a satellite in orbit is much higher.

Another reason for the choice of this problem for the Final Thesis is the advanced level of the tools previously discussed, because with the release of each new version new possibilities are added and the above mentioned are simplified. In this case, we have the 2011 version of LabVIEW to develop the work, thanks to the relationship between the UC3M (Universidad Carlos III de Madrid) and National Instruments. For this version, the USRP peripherals that are available in the laboratory of the university are still supported.

On a personal level, as a student of the Degree in Telecommunications Engineering Technology, after completing the subject Telecommunication Systems, I was able to gain an overview of the entire field and its possibilities, but had not delved into its design, which I expect to achieve by performing this final work.

1.1.2. Goals

The main purpose of this work is to develop a simple but realistic simulator that meets the needs required in the problem, bearing in mind at all times experiences and systems prior to our current situation. In addition, it will face almost all the difficulties of a real situation, such as choosing a transmission frequency and optimal type of modulation, or the development of headers that allow a proper synchronization. Current regulations will always be satisfied, and ultimately the quality of the simulator will be analysed, which is much needed in this area as a small mistake can lead to large consequences.

Another relevant goal is related to teaching, as it will try to transmit, in a simple manner, all the acquired knowledge for those looking for formation, as it has been done in this Thesis with prior works on the field. Likewise, it will settle guidance and base for future projects, as they will be able to take advantage of the difficulties encountered and recommendations for the system used.

All in all, the consistency and details provided in the solution will seek an easy concepts assimilation.

1.2. Versión en español

El presente documento explica el funcionamiento de un simulador de EGSE (Electric Ground Support Equipment) y la viabilidad de su implementación.

El proyecto que constituye este Trabajo de Fin de Grado consiste en la implementación, sobre una plataforma SDR (Software Defined Radio), de la transmisión (Tx) y recepción (Rx) completa de la información que emplean las estaciones terrestres de comunicación con el objetivo de controlar una estación en órbita mediante el uso de telecomandos. Todo lo que aquí se mostrará es parte de un conjunto formado también por los trabajos de dos alumnos, representando en total cada parte de la comunicación: telecomandos (comunicación base-satélite), telemetría¹ (comunicación satélite-base) y gestión de recursos y dispositivos dentro del satélite². Para comprender mejor este escenario se explicará detalladamente cada sección, así como la plataforma y periféricos con los que se han llevado a cabo el trabajo.

¹ *Simulador de EGSE (Electric Ground Support Equipment) [TELEMETRIA] mediante plataforma Software Defined Radio*, Félix Jiménez Monzón.

² *Simulador simple de OBDH (On Board Data Handling) mediante plataforma Software Defined Radio*, Fernando García Arias.

A la hora de escoger un dispositivo sobre el que trabajar, se encuentran en los USRP (Universal Software Radio Peripheral) de National Instruments³ las herramientas adecuadas para el problema a resolver. En primer lugar, el periférico ha sido elegido por ser un dispositivo fácilmente configurable y capaz de transmitir y recibir señales, así como procesar la información obtenida a través de dicha recepción. Y en segundo lugar porque su capacidad de procesamiento será, de forma aproximada, la misma que la estación puesta en órbita y permitirá adecuarlo en todos los aspectos a una situación real, puesto que es una plataforma SDR y permite simular todos los dispositivos que se conectarán al satélite.

Una vez realizada la elección anterior, National Instruments³ proporciona la plataforma LabVIEW, la cual permite volcar en los dispositivos una programación específica. LabVIEW cuenta, además, con un amplio abanico de tipos de modulación que servirán de base para la realización del trabajo.

Con todo el equipamiento preparado, queda establecer los telecomandos necesarios para las funciones que se definirán posteriormente y se basan en el estándar [1] proporcionado por la ECSS⁴ (European Cooperation for Space Standardization). Entre estos comandos se incluirán los necesarios para disponer de un sistema con control de errores y poder superar todos los problemas que puedan surgir.

Finalmente, se analizará la posibilidad de construir y poner en marcha todo este conjunto, utilizando para ello esquemas del tiempo que se dedicará a cada actividad y presupuestos de los materiales, y posteriormente la extracción de conclusiones sobre el trabajo.

1.2.1. Motivación

La tecnología y las comunicaciones han evolucionado durante los últimos años para permitir la transmisión de información en cualquier sitio, y hoy en día, la utilización de las orbitas de la Tierra para situar satélites de comunicaciones es una práctica que realizan algunas de las grandes entidades del sector. Pero la funcionalidad de estos dispositivos no se restringe únicamente al campo de las comunicaciones, también se emplean en otras aplicaciones debido a su gran utilidad, como localización (sistemas GPS -Global Positioning System- o Galileo), fotografías aéreas u observación espacial. En todas estas situaciones, la base de la comunicación entre la estación base y la estación orbital es la misma.

Gracias a estas aplicaciones, surgen oportunidades de negocio. Por ejemplo, ofrecer un servicio de imágenes en tiempo real sobre algunas zonas de nuestro

³ URL: <http://spain.ni.com/>. Último acceso: Septiembre 2015.

⁴ European Cooperation for Space Standardization. URL <http://www.ecss.nl/>. Último acceso: Septiembre 2015.

planeta. Así pues, existe un alto interés en programar correctamente todos los dispositivos y optimizar el intercambio de información, y un mal funcionamiento podría ocasionar grandes pérdidas, no solo por la caída del servicio, sino también por el precio a pagar para construir un satélite nuevo. Comúnmente se elige esta práctica porque el coste de reparar el satélite en órbita es muy superior.

Otro motivo de la elección de este problema para la Tesis Final es el avanzado nivel de las herramientas comentadas previamente, ya que con cada nueva versión se añaden nuevas posibilidades y se simplifican las anteriores. En este caso, se cuenta con la versión 2011 de LabVIEW para desarrollar el trabajo, gracias a la relación entre la UC3M (Universidad Carlos III de Madrid) y National Instruments³. Para esta versión, los periféricos USRP de que se dispone en el laboratorio de la universidad siguen siendo compatibles.

A nivel personal, como estudiante del Grado en Ingeniería en Tecnologías de Telecomunicación, tras cursar la asignatura Sistemas de Telecomunicación, se ha obtenido una vista general de todo este campo y sus posibilidades pero no se ha ahondado en su diseño, lo que se espera conseguir realizando este TFG.

1.2.2. Objetivos

El propósito principal del trabajo es desarrollar un simulador sencillo pero realista que cubra las necesidades requeridas en el problema, teniendo presente en todo momento experiencias y sistemas anteriores a nuestra situación. Además, se hará frente a casi todas las dificultades de un caso real, tales como la elección de una frecuencia de transmisión y tipo de modulación óptima, o la elaboración de cabeceras que permitan una correcta sincronización. Siempre se cumplirá la normativa vigente, y al final se analizará la calidad del simulador, la cual es muy necesaria en este campo debido a que un pequeño fallo puede acarrear grandes consecuencias.

Otro objetivo importante tiene que ver con la docencia, pues el conocimiento adquirido se intentará transmitir de forma sencilla y clara a todos aquellos que busquen formación, al igual que se ha hecho en esta Tesis con otros trabajos previos relacionados. Asimismo, podrá servir de guía o base para futuros proyectos, donde se puedan aprovechar las dificultades encontradas y recomendaciones para el sistema aquí utilizado.

Por último, la coherencia y los detalles en la presente solución procurarán una fácil asimilación de conceptos.

Capítulo 2.

ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se realizará una panorámica sobre la plataforma SDR y periféricos. Se mostrará el origen de este software y hardware, sus diferentes tipos, las aplicaciones que pueden tener este tipo de tecnologías y qué esfuerzos se han realizado para estandarizarla.

2.1. Introducción a SDR

SDR es un sistema de radiocomunicaciones donde los componentes que normalmente son implementados por hardware (mezcladores, filtros, amplificadores, moduladores/demoduladores, etc.) se implementan por software. En otras palabras, el software es usado para implementar la transmisión radio y sus funciones. Otro concepto destacable es el DSP (Digital Signal Processing), la manipulación numérica de señales con el objetivo de medir, filtrar, crear o comprimir señales analógicas continuas.

Los sistemas SDR más básicos pueden construirse con un PC (Personal Computer) que tenga una tarjeta de sonido u otro conversor analógico-digital y con una antena para transmitir.

2.1.1. Historia

En primer lugar, SDR parte de la necesidad de simplificar el hardware de la transmisión por radio, un gran hito conseguido gracias a las investigaciones de J. B. J. Fourier, J. C. Maxwell, Nikola Tesla y G. Marconi. Debido a su influencia en el día a día de la sociedad, se ha continuado desarrollando desde su creación en 1895 hasta la actualidad.

El origen de este avance para sustituir hardware por software tiene origen militar como explica John L. Shanton en [2]. En 1970 aparece, en el Departamento de Defensa

de EEUU (Estados Unidos), el término “receptor digital” para referirse a una herramienta de análisis en banda base que realizaba las operaciones por software. 14 años más tarde, la compañía actualmente conocida como Raytheon⁵ (antes E-Systems Inc., relacionada con el campo militar) emplea el término “software radio” para aludir a un receptor digital en banda base. A partir de entonces el Departamento de Defensa de los Estados Unidos intentó ocultar el desarrollo de un software radio completamente digital (se construyó un prototipo de terminal táctico con procesadores de la compañía Texas Instruments⁶ en 1990/91), transmisor y receptor, pero no pudo evitar la publicación en 1993 en la revista IEEE el trabajo [3] de J. Mitola sobre software radio. El trabajo que estaba llevando a cabo el Departamento de Defensa, proyecto SPEAKEasy, pretendía poder coordinar varios radios militares mediante un único sistema de radio. Desde entonces se ha avanzado en la dirección de la rapidez y la reconfiguración, llegando a aplicar placas programables (FPGA -Field Programmable Gate Array-) y con el objetivo de crear un dispositivo pequeño, barato y ligero.

Mientras, en Europa también se profundizó en este término, consiguiendo elaborar en 1988 el primer transceptor (transmisor y receptor) radio por software. Sus creadores fueron Peter Hoeher y Helmuth Lang para el Centro Aeroespacial Alemán, y también ofrecieron un periférico hardware flexible a distintas configuraciones.

2.1.2. Actualidad

En la actualidad la empresa Raytheon⁴ continúa ayudando al Departamento de Defensa en todos los tipos de seguridad que existen, tanto con armas como con software, y la entidad Texas Instruments distribuye procesadores optimizados para SDR. También existe el programa militar *Joint Tactical Radio System* (JTRS) el cual ha desarrollado la arquitectura *Software Communications Architecture* para estandarizar el desarrollo de SDR, mejorar la interoperabilidad de sistemas de comunicaciones, y reducir los costes de desarrollo y despliegue.

Por otro lado, se pretende facilitar un uso doméstico y de más bajo nivel con la comercialización de periféricos específicos que se conectan al ordenador mediante un puerto USB o Ethernet, de los cuales posteriormente se verán algunos ejemplos. El software que permite controlar este hardware generalmente utiliza la librería SDR de código abierto DttSP⁷.

2.2. Satélites

⁵ URL: <http://www.raytheon.com/>. Último acceso: Septiembre 2015.

⁶ URL: <http://www.ti.com/>. Último acceso: Septiembre 2015.

⁷ URL: <http://dttsp.sourceforge.net/>. Último acceso: Septiembre 2015.

Un satélite es un cuerpo que orbita alrededor de otro, contemplando la posibilidad de ser artificiales, como se propuso en 1945 con la publicación del artículo [4] en la revista *Wireless World*⁸, donde se plantea teóricamente la viabilidad de situar un satélite de comunicaciones en una órbita geoestacionaria. En este artículo hablaba de cómo un satélite en una órbita geoestacionaria puede ser estático con respecto a la posición de la Tierra. Esto generó tal interés que suscitó el comienzo de una nueva era en las comunicaciones.

2.2.1. Primeros satélites

Entre 1945 y 1955 se lanzaron diversos cohetes de prueba con la intención de llegar más allá de la última capa de la atmósfera. El cohete A-4 (V-2), conocido por su uso en la Segunda Guerra Mundial, atrajo la atención para estos experimentos, pues alcanzaban una gran altura. Así fue que en mayo de 1946 se realizó un lanzamiento, alcanzando los 112 km.

En 1955, EEUU y Rusia tenían el propósito de situar satélites artificiales en órbita, como se destaca en [5]. El primer satélite que hizo realidad la hasta entonces teoría, fue el satélite ruso Sputnik-1, lanzado en 1957. Un año después, los americanos lograron este mismo hito con el Explorer-1. En ambos países siguieron enviando sucesores de estos satélites que duraban pocos meses en órbita y terminaban cayendo a tierra. También se descubrió el campo magnético.

2.2.2. Satélites modernos

Durante el intervalo 1960-1965, la funcionalidad de los satélites se amplió, dando servicio principalmente a comunicaciones, predicción meteorológica y navegación, con diseños que utilizaban órbitas circulares o elípticas. A día de hoy las funcionalidades son muchas y varían dependiendo de la órbita elegida. Como ejemplo está la serie Intelsat, dedicados a las comunicaciones alrededor del mundo; la serie METEOSAT para meteorología; y también otros para servicios de televisión. A su vez, en la literatura [6] se ha establecido una clasificación en función del tamaño de cada satélite, que se muestra en la siguiente tabla (tabla 1):

Tabla 1 Clasificación de los satélites según su tamaño.

| Tipo de satélite | Masa (kg) |
|------------------|------------|
| Grande | > 1000 |
| Mediano | 500 - 1000 |
| Mini | 100 - 500 |

⁸ Su período de publicación duró de 1913 a 1984. Actualmente tiene el nombre de Electronics World. URL: http://www.americanradiohistory.com/Wireless_World_Magazine.htm. Último acceso: Septiembre 2015

| Tipo de satélite | Masa (kg) |
|------------------|-----------|
| Micro | 10 - 100 |
| Nano | 1 - 10 |
| Pico | 0.1 - 1 |
| Femto | < 0.1 |

Este desarrollo ha propiciado que actualmente haya más de 5000 satélites (propiedad de diferentes países) orbitando aunque menos de la mitad están activos, lo cual ocasiona cierto problema de seguridad. España cuenta con 5 satélites en órbita.

2.2.3. Estaciones terrestres

Una estación terrestre es un terminal situado sobre la superficie de la Tierra, ya sea fijo o móvil. Estas estaciones son necesarias para controlar las estaciones orbitales, y se han ido desarrollando a la par. Para la parte terrestre del sistema no ha existido limitación de software o hardware, dado que la estructura es la misma que la aplicada para los receptores y emisores de radio. Los únicos avances que cabe mencionar son la localización del satélite y las antenas receptoras capaces de rotar para alinearse con el satélite, pero no se desarrollarán en este trabajo dado que no son necesarias.

2.3. Herramientas y hardware para SDR

Hoy en día se dispone de un amplio abanico de posibilidades para construir sistemas de radiocomunicaciones SDR. A continuación, se va a presentar un pequeño rango de dispositivos y entornos o plataformas que reúnen las cualidades para ser escogidos como base para el correcto desarrollo de un sistema como el que se desea implementar en este trabajo.

2.3.1. Hardware

Existen multitud de periféricos con diferentes rangos de frecuencia, frecuencia de muestreo y compatibilidad con sistemas operativos. Aquí se van a comentar los más destacados con un nivel de utilidad mayor.

Tabla 2 Características de diferentes periféricos para la plataforma SDR.

| Nombre | Rango de frecuencias | Velocidad de muestreo | Interfaz de host | Windows | Linux | Mac | Precio (US\$) |
|--------|----------------------|----------------------------|------------------|---------|-------|-----|---------------|
| AirSpy | 24 - 1800 MHz | 20 Msps ADC sampling | USB | Sí | Sí | Sí | 199 |

| Nombre | Rango de frecuencias | Velocidad de muestreo | Interfaz de host | Windows | Linux | Mac | Precio (US\$) |
|---|----------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------|-------|-----|---------------|
| Quadrus (DRU-244 ^a -1-1-PCI) | 0.1 - 440 MHz | 80 Msps ADC sampling | PCI | Sí | Sí | Sí | 1490 |
| Myriad-RF 1 | 0.3 - 3.8 GHz | 0.75 – 14 MHz | FX10A-80P | Sí | Sí | Sí | 299 |
| ThinkRF WSA5000 | 100 kHz - 27 GHz | 125 Msps | 10/100/1000 Ethernet | Sí | Sí | Sí | 3500 |
| AOR AR-2300 | 40 kHz - 3.15 GHz | 65 Msps | Embedded System, USB | Sí | No | No | 3299 |
| BladeRF | 0.3 - 3.8 GHz | 40 Msps | USB 3.0 Superspeed | Sí | Sí | Sí | 420 |
| Bitshark Express RX | 0.3 - 4 GHz | 105 Msps (solo RX) | PCIe | Sí | Sí | No | 4300 |
| Matchstiq | 0.3 - 3.8 GHz | 40 Msps | USB, Gigabit Ethernet | Sí | Sí | Sí | 4500 |
| FUNcube Dongle | 64 - 1700 MHz | 96 kHz | USB | Sí | Sí | Sí | 160 |
| USRP-2920 | 50 MHz - 2.2 GHz | 25 Msps - 16bit / 50 Msps - 8bit | Gigabit Ethernet | Sí | Sí | Sí | 2870 |
| HackRF One | 1 MHz - 6 GHz | 8 - 20 Msps | USB 2.0 | Sí | Sí | Sí | 328 |
| AD-FMCOMMS5-EBZ | 70 MHz - 6 GHz | 61.44 Msps | FMC, USB 2.0, Gigabit Ethernet | Sí | Sí | Sí | 1125 |

De todos estos (tabla 2), se preseleccionan los siguientes por su amplio rango de frecuencias (esto favorece que durante el desarrollo se empleen aquellas que ofrezcan menos interferencias) y la interfaz de que disponen para su configuración, ya que deberán ser los más universales posibles:

- **Matchstiq** [7] de EPIQ Solutions⁹, un dispositivo de tamaño reducido, de doble antena (una para transmitir y otra para recibir) y que requiere un kit de desarrollo (válido para todos los sistemas operativos), con salida HDMI y procesador *Quad-core ARM Cortex A9* a 800MHz, pero su precio

⁹ URL: <http://epiqsolutions.com/>. Último acceso: Septiembre 2015.

es elevado. También cuenta con conectividad GPS. Alimentación de $8-42 V_{DC}$.

- **USRP-2920** [8] de National Instruments³, ésta es una opción más simple y barata que la anterior sin posibilidad de utilizar GPS, dispone una antena de doble funcionalidad y otra de solo recepción, y puede ser configurado a través de más de una plataforma. Alimentación de $6 V_{DC}$.

Tras comparar ambos periféricos, se ha optado por el USRP, pues aunque no tenga un hardware tan desarrollado, la posibilidad de utilizar varias plataformas para su configuración permite jugar más con los conocimientos adquiridos durante la formación en los estudios de grado. Otro aliciente para la toma de esta decisión es su disponibilidad en los laboratorios de la UC3M.

2.3.2. Herramientas

El hardware elegido ha sido USRP (Universal Software Radio Peripheral), el cual ha sido diseñado para una mayor accesibilidad, y por ello están basados en hardware de código libre que admite su configuración con distintas herramientas. Dada esta condición, las opciones más asequibles para crear el sistema son las siguientes herramientas gráficas (existe la posibilidad de programar con C/C++, pero tendría la dificultad añadida de no ser gráfico):

- **GNU Radio Companion:** [9] proporcionada por GNU Radio¹⁰, es gratuita. No se dispone de conocimientos previos sobre su funcionamiento.
- **LabVIEW:** [10] creada por National Instruments³, es la opción que más relación guarda con el hardware. No es gratuita pero como alumno de la UC3M se tiene acceso a ella, aunque no se dispone de conocimientos previos sobre su funcionamiento.
- **MATLAB y Simulink:** [11] creada por MathWorks¹¹. No es gratuita y existe una familiarización previa con MATLAB, la cual está disponible para los alumnos de la UC3M.

Finalmente, se desarrollará sobre LabVIEW pese a que será necesario un tiempo anterior de formación. Esta tarea se puede realizar de forma autodidáctica, con el libro *LabVIEW: entorno gráfico de programación* y el apoyo de la Comunidad de National Instruments³, o con cursos de pago. Debido a la extensa duración de los cursos, el aprendizaje se realizará de la primera forma.

¹⁰ GNU Radio, URL: <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki>. Último acceso: Septiembre 2015.

¹¹ MathWorks, URL: http://es.mathworks.com/index.html?s_tid=gn_logo. Último acceso: Septiembre 2015.

2.4. Aplicaciones

En primer lugar las herramientas de programación son gráficas, esto quiere decir que su complejidad no es excesiva abriendo la posibilidad de trabajar con ellas a todo el mundo. Como consecuencia de un software amplio, la cantidad de sistemas que se pueden crear es incontable, pero si hay ciertas aplicaciones concretas de lo que se ha visto, centradas en la recepción y transmisión de señales (haciendo uso del DSP). La primera de ellas puede ser suplir a una emisora de radio y crear una propia de corto alcance, como puede hacer cualquier radioaficionado; o al contrario, se puede crear un receptor para sintonizar las distintas emisoras.

Una función más doméstica tiene relación con dispositivos pequeños como un teléfono móvil, ya que conociendo los estándares de comunicaciones (como por ejemplo los de GSM -Global System for Mobile communications-) se pueden crear prototipos de inhibidores de frecuencia o repetidores. Pero también puede ser una aplicación interna al teléfono, pues en este hardware prima más el espacio y la plataforma SDR permite reducirlo.

Para el desarrollo de un prototipo mayor, como el que aquí se realiza, también es posible hacer uso de otras funciones como trabajar con imágenes, memoria, reloj, ficheros o interrupciones.

Finalmente puede hacerse un uso simple del sistema GPS (con aquellos dispositivos que lo permitan), o añadirlo a otros proyectos y personalizar su funcionamiento.

2.5. Regulación

Para la situación que se presenta, existen dos entidades reguladoras que afectan directamente: ECSS⁴ y CNAF¹² (Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias), relacionadas con actividades espaciales y con frecuencias atribuidas en España respectivamente.

2.5.1. ECSS

La Cooperación Europea para la Normalización Espacial es una iniciativa creada para desarrollar un único y coherente conjunto de normas de fácil uso para todas las actividades espaciales europeas. Es necesario cumplir el estándar [1], dado que la implementación será igual que un sistema real. De aquí se obtiene la base para los

¹² URL: <http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/Paginas/CNAF.aspx>. Último acceso: Septiembre 2015.

distintos mensajes que intercambiarán las estaciones, con la posibilidad de incorporar los que sean necesarios.

2.5.2. CNAF

El Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias es el instrumento legal, dependiente del Ministerio de Industria, Energía y Turismo de España, que asigna bandas de frecuencia a distintos servicios de radiocomunicaciones [12]. Estas bandas van desde 8.3 kHz hasta 3000 GHz. Las bandas permitidas para la aplicación son aquellas asignadas a radiodifusión, y están entre 460 y 890 MHz. La elección concreta de la frecuencia se llevará a cabo en el capítulo 4, donde se desarrolla la explicación de la elección de cada una.

2.6. Marco socio-económico

Durante el último periodo, 2014, el número de habitantes en España ha sufrido una pequeña bajada, siguiendo la tendencia desde 2011 [13] (figura 1).

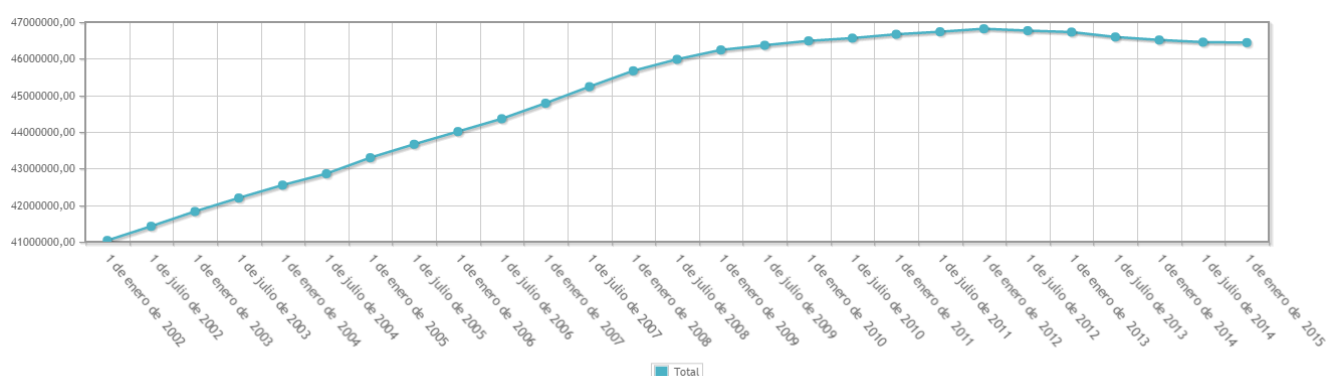


Figura 1 Gráfico Evolución de la Población Española (Fuente: Instituto Nacional de Estadística -INE-).

Los datos concretos del último periodo son los siguientes (figura 2):

| Población residente en España | Población a 01/01/2014 | Población a 01/01/2015 | Variación % |
|-------------------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| Población total | 46.512.199 | 46.439.864 | -0,16 |
| Hombres | 22.877.461 | 22.820.775 | -0,25 |
| Mujeres | 23.634.738 | 23.619.089 | -0,07 |
| Españoles | 41.835.140 | 41.992.012 | 0,37 |
| Extranjeros | 4.677.059 | 4.447.852 | -4,90 |

Figura 2 Población Española 2015 (Fuente: INE).

El crecimiento natural de la población está sufriendo un descenso notable y la previsión para los próximos años es que continúe esta bajada debido al crecimiento

vegetativo que cada año disminuye. A continuación se muestra un gráfico (figura 3) donde se puede apreciar la evolución y previsión de la natalidad, mortalidad y crecimiento vegetativo.

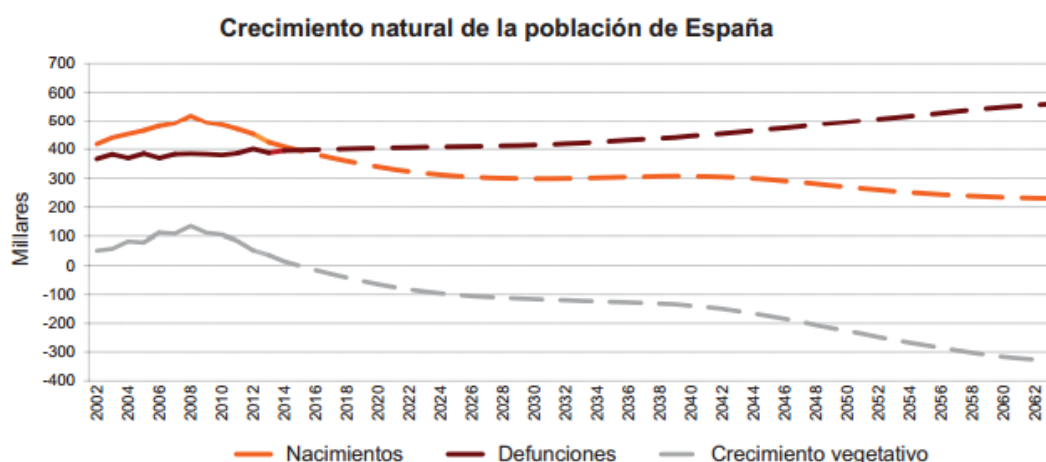


Figura 3 Gráfico Crecimiento Natural Población Española (Fuente: INE).

A lo largo de los últimos años la economía española ha sufrido los efectos de una crisis económica muy importante, la cual ha afectado a nivel global a todas las potencias económicas. Esta crisis ha influido en todos los sectores, en primer lugar al sector de la construcción, de la que se abastecía un gran porcentaje de la población española. Además, el resto de sectores se han visto altamente afectados, lo que ha llevado al país a un descenso muy importante en la economía de todos los hogares.

En la siguiente imagen (figura 4) se muestra la tasa de paro del último periodo documentado:

Encuesta de Población Activa - Trimestre 2/2015

| | | Valor | Variación |
|-------------------|---|----------|-----------|
| Ocupados | 1 | 17.866,5 | 2,96 |
| Parados | 1 | 5.149,0 | -8,43 |
| Tasa de actividad | 2 | 59,79 | 0,16 |
| Tasa de paro | 2 | 22,37 | -2,10 |

1 Valor en miles. Variación sobre el mismo período del año anterior

2 Valor en %. Variación: diferencia respecto a la tasa del mismo período del año anterior

Figura 4 Situación Población Activa Española (Fuente: INE).

Este elevado nivel de desempleo ha provocado un descenso en el poder adquisitivo en el territorio español, pero también a nivel mundial. Lo que ha provocado que las familias dediquen menos dinero al consumo. Sin embargo, en estos datos también se puede apreciar un descenso del paro del 2,10%, un dato alentador que indica que la economía está resurgiendo, aunque de forma muy lenta.

Por otro lado, un indicador importante sobre la economía española es el PIB (Producto Interior Bruto) y su evolución, que como se muestra a continuación en la figura 5, se puede ver el gran descenso que ha sufrido durante los últimos años, pero también es posible apreciar el crecimiento positivo que está teniendo en el último periodo 2015:

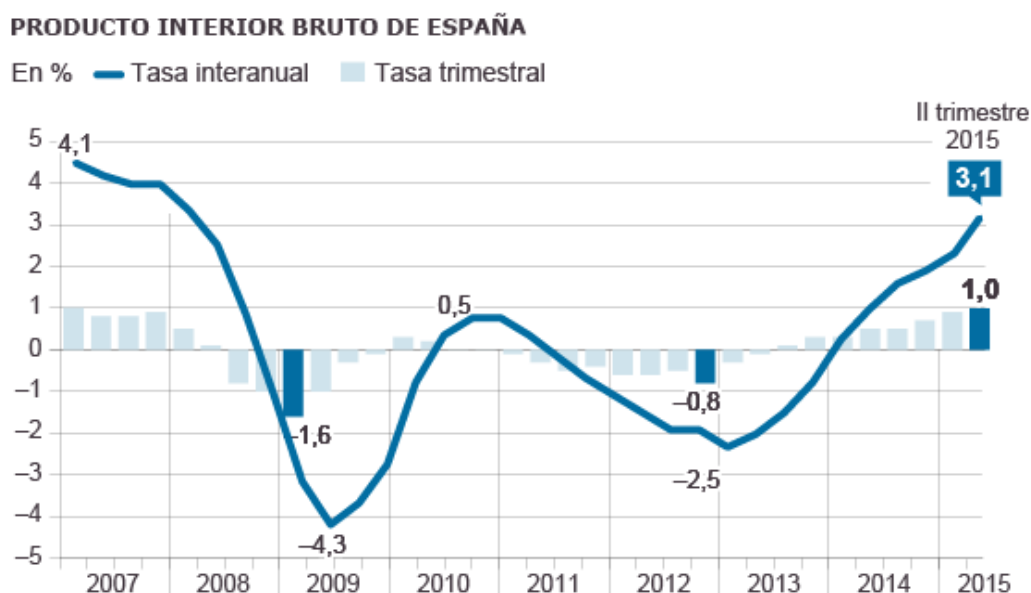


Figura 5 Evolución Economía Española PIB (Fuente: INE).

La crisis de los últimos años ha provocado que las empresas y estados reduzcan sus inversiones, y el primer recorte de estas inversiones ha sido la investigación y nuevas tecnologías, lo que afecta directamente en el sector en el que nos encontramos donde tiene cabida este proyecto. Afortunadamente la crisis está remitiendo y ya se están viendo afectados los sectores de la economía por esta mejora.

Por otra parte, el sector de las nuevas tecnologías es el más vivo y activo de todos, donde todo cambia y a una velocidad muy elevada, y es necesario que exista una investigación continua de alto nivel para poder satisfacer las necesidades del mercado al ritmo que este exige.

2.7. Factores tecnológicos sobre SDR

En primer lugar, es sencillo aprender herramientas gráficas como LabVIEW, pues encontrar manuales [13] o tutoriales gratuitos sobre las diferentes herramientas de desarrollo es rápido y fácil, y si no es el caso, también existen comunidades [14] donde otros desarrolladores o usuarios, o incluso los propios programadores de dicha herramienta, pueden ayudar a resolver dudas y problemas. Un grado de evolución tecnológica elevado no tiene por qué significar mayor complejidad en el aprendizaje para los usuarios finales.

También se ha comentado la utilidad de la tecnología de las placas programables FPGA, pues su avance ha permitido la creación de los periféricos reconfigurables. Aunque este tipo de circuitos no sean tan rápidos como otros dentro del sector, su capacidad de reconfiguración les hace tomar ventaja. Otro factor influyente es encontrarse en un continente desarrollado, de manera que el acceso al hardware es rápido y directo. Además, la competición o cooperación entre empresas resulta muy influyente en la creación de nuevo software y hardware.

Por último, la plataforma SDR es adaptable a futuros cambios en el sector, pues es una “plataforma” y utiliza la emisión y recepción por radio, algo que se usa en la casi totalidad de sistemas de comunicaciones. En consecuencia, un salto tecnológico supondría una mejora en las prestaciones ofrecidas.

Capítulo 3.

DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO DE TRABAJO

3.1. Planteamiento del escenario

Como ya se comentó en la introducción, los elementos que entran en escena son: una estación orbital y una estación terrestre dividida en dos partes, transmisión y recepción (figura 6). Para simular también la conexión, se emplearán telecomandos (paquetes de bits enviados desde tierra, TC) y telemetría (paquetes de bits enviados desde la órbita terrestre, TM), que se detallarán posteriormente.

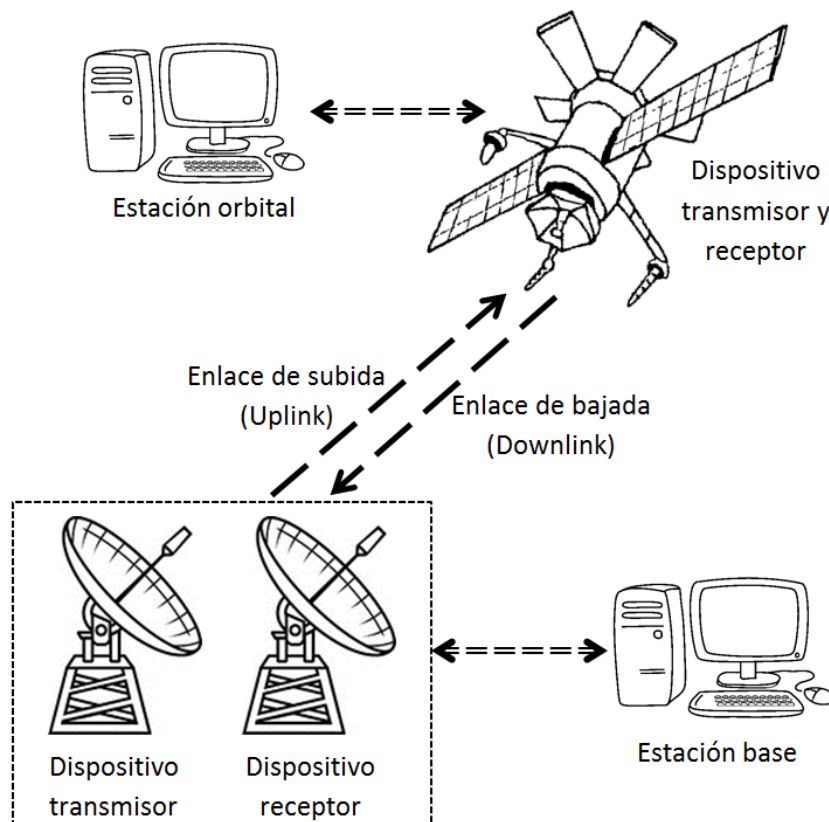


Figura 6 Escenario.

Los elementos del sistema se ejecutarán de forma independiente, empleando un PC y un USRP para cada uno y así evitar una sobrecarga de trabajo en los periféricos. Así pues, las bandas de frecuencia elegidas para la comunicación atendiendo a [12] son:

- Uplink (Transmisor-Satélite): 650 MHz.
- Downlink (Satélite-Receptor): 600 MHz.

Estas frecuencias han sido elegidas de acuerdo a un margen de ancho de banda de 50 MHz para cada una, evitando así posibles interferencias.

3.1.1. Estación terrestre

3.1.1.1. Estación transmisora

Esta parte es la división que concierne al trabajo aquí realizado, la cual será la encargada de interactuar con el satélite mediante telecomandos. La estación requerirá de un usuario que elija qué debe hacer el satélite, y para ello se han definido varios servicios (cada uno con distintos tipos de funciones) que se tratarán en detalle en el siguiente capítulo.

3.1.1.2. Estación receptora

El elemento encargado de la recepción estará en constante ejecución capturando el tráfico y será de crucial importancia que, el mismo usuario al mando de la estación transmisora, atienda a la telemetría recibida y actúe en consecuencia.

3.2. Telecomandos y telemetría.

3.2.1. Telecomandos

Llamamos telecomandos a las órdenes y datos transmitidos por la estación terrestre para la estación orbital o uplink. Esta información va a enviarse según la siguiente estructura de paquetes (figura 7), que variará en tamaño dependiendo del tipo y subtipo de servicio que se escoja:

| Packet Header (48 b) | | | | | | | Packet Data Field (variable) | | |
|----------------------|-------------|------------------------|------|--------------------------------|----------------|---------------|------------------------------|------------------|----------------------|
| Packet ID (16 b) | | | | Packet Sequence Control (16 b) | | Packet Length | Data Field Header | Application Data | Packet Error Control |
| Version Number | Packet Type | Data Field Header Flag | APID | Sequence Flags | Sequence Count | | | | |
| 3 b | 1 b | 1 b | 11 b | 2 b | 14 b | 16 b | 32 b | Variable | 16 b |

Figura 7 Estructura de un paquete de telecomando.

3.2.2. Telemetría

Empleamos el término telemetría para referirnos a la información enviada desde el satélite hacia la base o downlink. Esta información va a enviarse según una estructura idéntica a la de un telecomando con la excepción del campo “Packet Error Control”.

3.3. SDR

3.3.1. LabVIEW

La versión de LabVIEW que ha sido utilizada es la de 2011, la cual sólo está disponible en 32bits. Gracias a su paquete de comunicaciones, se cuenta con funciones o “VI” (en formato .vi -Virtual Instrument-) ya creadas para transmitir por una de las antenas del USRP la información que se quiera. Además se cuenta con el programa “NI-USRP Configuration Utility” [15], que permite asignar las direcciones IP de los transceptores USRP.

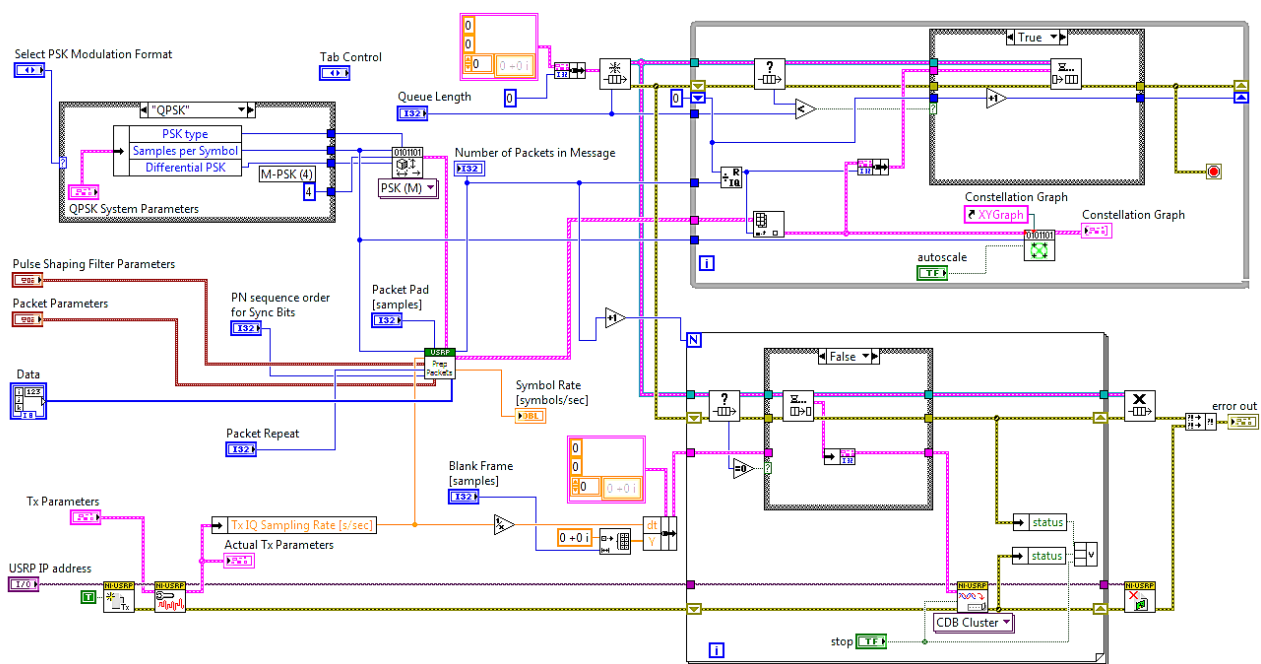


Figura 8 Diagrama de bloques de la función “sub_Send.vi”.

Para la transmisión empleamos la función [16] de la figura 8, que nos permite escoger un tipo de modulación para los datos que queremos transmitir y cargarlos en el USRP con el que trabajemos, que acto seguido enviará dicha información (a la función representada le acompaña otra para la recepción). Durante el desarrollo de la aplicación, se crearán distintos VI y que enlazarán unos con otros enlazando entradas y salidas de datos. Como prueba para la elección de la frecuencia, se han aprovechado los VI recién obtenidos para observar la interferencia que pudiese haber, pero los resultados son satisfactorios y ningún otro sistema de radio interfiere con el ejecutado.

3.3.2. USRP

Este periférico [8], viene preparado para la herramienta LabVIEW. El modelo del que se dispone es el USRP-2920 (figura 9), que aunque no disponga de un reloj para la sincronización, se puede emplear uno externo o utilizar otros sistemas como el que se aplica con la función de enviar vista en la figura anterior.



Figura 9 USRP modelo 2920.

Cada USRP tiene dos antenas, una para transmitir y recibir (ambas acciones pueden realizarse a la vez) y otra sólo para recibir. Cabe la posibilidad de emplear un solo ordenador con varios Vis en ejecución, y a cada uno le asignamos un USRP distinto con el requisito de un puerto gigabit Ethernet por cada 2 USRP. Para poder realizar esto, necesitamos conectar un USRP al PC con un cable Ethernet y el segundo USRP al primero con un cable MIMO (Multiple Input Multiple Output).

Capítulo 4.

DESARROLLO DEL SIMULADOR

4.1. Requisitos

Como punto de partida, se van a definir los requisitos que servirán de guía para la aplicación. En el caso de los servicios que se ofrecen la descripción será breve, pues en el Anexo II se desarrollan con más detalle y se añade una lista de los telecomandos disponibles. Dichos requisitos se van a establecer acorde a un nivel de calidad y comodidad de uso para un usuario final.

- **Transmisión.** La transmisión de datos debe realizarse sobre una frecuencia con poca o nula interferencia, así como el uso de una modulación sencilla de implementar. También debe quedar claro qué información se está enviando y por lo tanto aplicar una cabecera a los paquetes.
- **Servicios.** Se consideran servicios aquellos conjuntos de acciones relacionadas que puede realizar el satélite siguiendo las órdenes que se le envíen. Son 10 servicios, pero solo se trabajarán aquellos que contengan telecomandos:
 - Servicio 1: Verificación de telecomandos. Este servicio es el único que solo contiene telemetría, ya que el satélite debe ser capaz de informar sobre los telecomandos recibidos, si son admitidos o no y si su ejecución es correcta o contiene fallos.
 - Servicio 3: Housekeeping y diagnóstico de datos. La definición de este servicio consiste en comprobar el estado del microprocesador y de los instrumentos de temperatura e imágenes. La recolección de datos se puede deshabilitar. En este caso, contamos con telecomandos y telemetría.
 - Servicio 5: Eventos. Con el control de eventos se permite que en caso de fallar algún componente nos llegue un aviso a tierra. Se puede decidir activar o no el reporte de eventos y limpiar el historial dentro del satélite.

- *Servicio 6: Gestión de memoria.* Se dispone de acceso a una memoria interna, una memoria RAM y otra ROM, con posibilidad de utilizar los datos contenidos en ellas. También es posible realizar una descarga de datos.
 - *Servicio 9: Gestión del tiempo.* Es posible cambiar la fecha y la hora de a bordo y solicitar las que está usando el satélite en el instante en el que se solicita.
 - *Servicio 11: Gestión del planificador de telecomandos.* Se podrán guardar telecomandos en memoria (4) y hacerse efectivos en la fecha que se precise.
 - *Servicio 12: Monitorización de a bordo.* Este servicio está destinado a los parámetros que se manejan sobre el estado del satélite, es decir, incluye acciones tales como activar y desactivar la medición de la temperatura del microprocesador, e incluso eliminar o añadir un parámetro a la lista de monitorización.
 - *Servicio 15: Test de conexión.* Es necesario disponer de un mensaje que únicamente compruebe el estado de la conexión entre la estación y el satélite.
 - *Servicio 32: Instrumento sensor de temperatura.* Los 4 sensores de temperatura pueden ser controlados totalmente desde tierra y solicitar los datos que hayan recopilado.
 - *Servicio 64: Instrumento de imágenes.* El instrumento fotográfico tiene el mismo funcionamiento base que los sensores de temperatura, con la diferencia de que al solicitar las imágenes, el tiempo transcurrido hasta completar la descarga de datos es mucho mayor puesto que las imágenes requieren enviar una gran cantidad de paquetes.
 - *Servicio 128: Reiniciar.* La capacidad de reiniciar el sistema de a bordo es indispensable para superar fallos debidos a una mala carga del software por un hecho puntual o permitir un “descanso” a la memoria del satélite.
-
- ***Interfaz de usuario.*** Cada opción e información de la estación base debe presentarse mediante una interfaz gráfica que sea sencilla e intuitiva para cualquier usuario.
 - ***Inicio de sesión.*** Para evitar un acceso no permitido a la aplicación, se ha de solicitar un nombre de usuario y una contraseña antes de poder navegar por la interfaz.
 - ***Registro de actividad.*** Toda actividad debe quedar guardada por seguridad y eficiencia.

4.2. Transmisión

Nos encontramos ante el primer aspecto que debemos desarrollar para poder establecer una comunicación entre dos dispositivos, pero como su programación no es el objetivo de este trabajo, se va a utilizar el VI llamado “sub_Send.vi”. Dicho archivo, ya comentado en el anterior capítulo, se basa en el “USRP Packet Transmitter.vi” (figura 5) que utiliza los archivos del paquete ofrecido por LabVIEW con algunas mejoras para la sincronización de los dispositivos, y que se ha obtenido a través de la comunidad de National Instruments. Una ventaja que se tiene al partir desde este trabajo, es que facilita la elección de la frecuencia de transmisión y ofrece varios tipos de modulación.

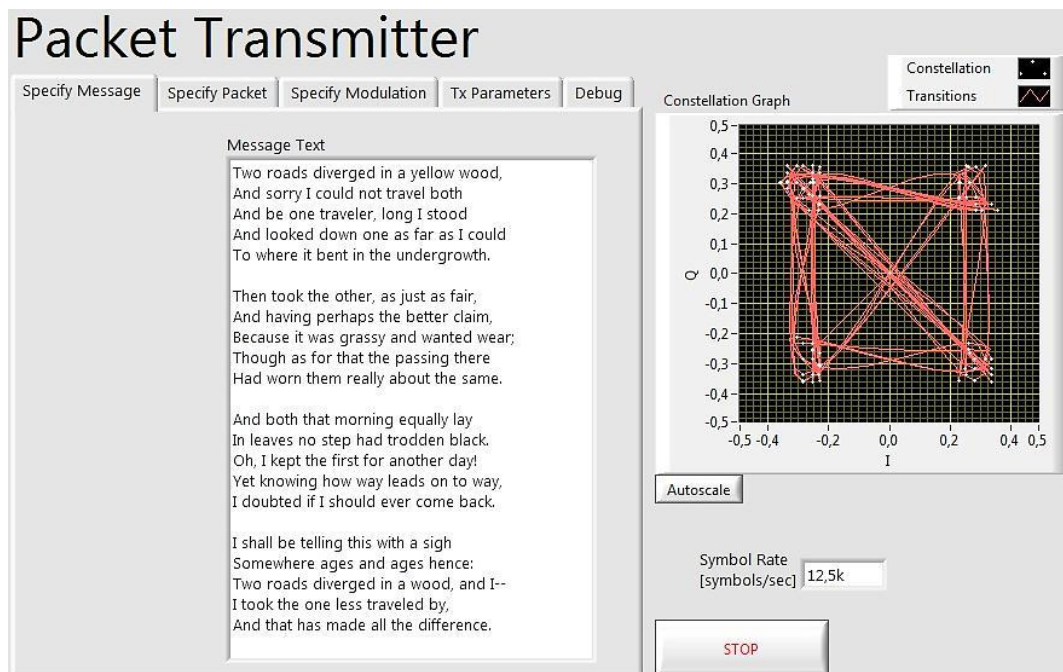


Figura 10 Panel frontal de “USRP Packet Transmitter.vi”.

Como se aprecia en la figura 10, la información transmitida es un texto, y lo que se pretende enviar son paquetes que contengan unos y ceros. Es por ello que requiere una modificación. Esta función tiene otra complementaria para la recepción, pero sólo se van a explicar los cambios realizados en la transmisión.

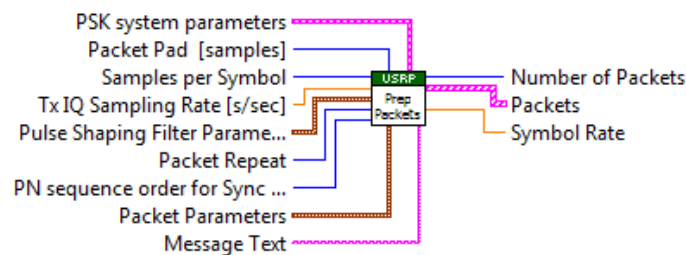


Figura 11 Entradas y salidas de “sub_Generate_Packet.vi” sin modificar.

En primer lugar, se debe sustituir la entrada de datos *Message Text* de la función generadora de paquetes (figura 11) para que sea un conjunto de bits. Esto lleva a modificar dicho VI, porque el tipo de datos de entrada ha cambiado. Si bien antes las letras requerían de una conversión a un flujo de bits (eligiendo previamente un número de paquetes a enviar) haciendo uso de “sub_Text_to_Bitstream.vi” (figura 12), ésta puede eliminarse parcialmente.

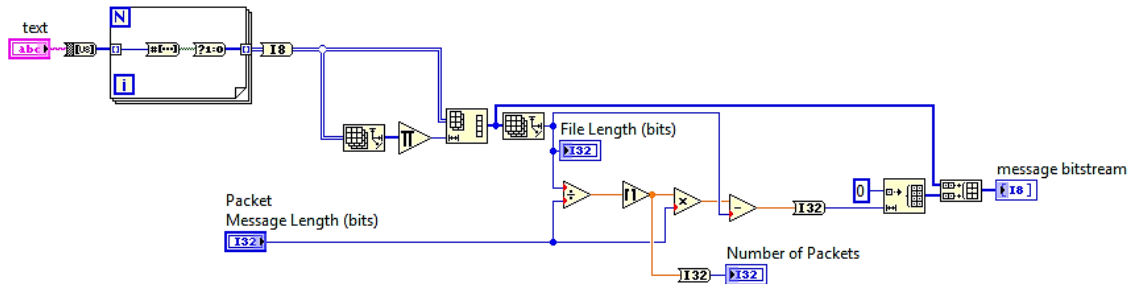


Figura 12 Diagrama de bloques de “sub_Text_toBitstream.vi” sin modificar.

Los elementos de la parte superior izquierda del diagrama son innecesarios si lo que se introducen son bits. El resultado se muestra en la figura 13:

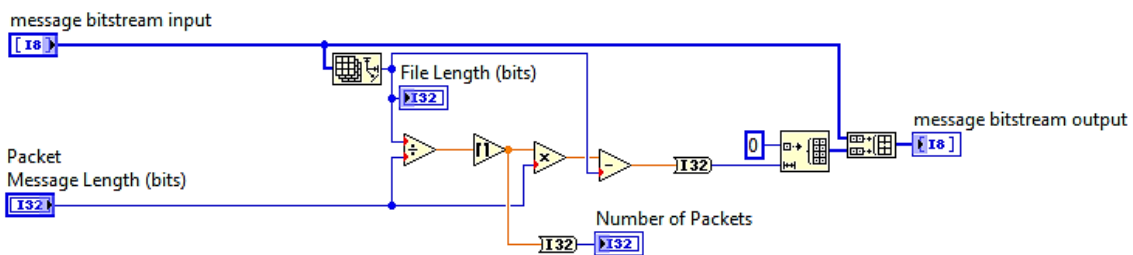


Figura 13 Diagrama de bloques de “sub_Text_to_Bitstream.vi” adaptado y renombrado como “sub_n_packets.vi”.

Así, finalmente resulta un panel frontal parecido al ya mostrado antes que se diferencia por tener un array de bits en la pestaña *Specify Message*. Como extra, se permite la repetición de paquetes, pero para la transmisión desde tierra no se va a utilizar esta funcionalidad.

4.2.1. Frecuencia

A la hora de elegir una frecuencia libre de interferencias, se debe recurrir al CNAF¹² y revisar las frecuencias atribuidas. Entre todas las frecuencias para las distintas aplicaciones, serán útiles aquellas dedicadas a la radiodifusión, en concreto entre 460 y 890 MHz. Finalmente se ha elegido la frecuencia de 650 MHz, pues tras realizar varias pruebas no se aprecia tráfico al ejecutar la versión receptora.

4.2.2. Modulación

Para este apartado, se ha escogido la modulación BPSK (Binary Phase Shift Keying) mostrada en la figura 14, pues es una modulación sencilla y disminuye las posibilidades de confundir unos símbolos con otros. Se va a trabajar con un flujo de datos bajo que no requiere un ratio de transmisión de información elevado para alcanzar unas prestaciones elevadas.

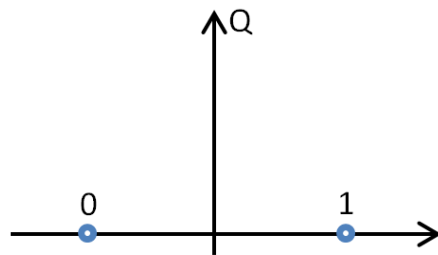


Figura 14 Símbolos transmitidos en la modulación BPSK.

4.2.3. Encapsulamiento

Como forma de simplificar el diagrama de bloques, LabVIEW ofrece la opción de añadir nuevas entradas a un VI y de incorporarlo a otro VI, por ello la función que engloba todos los cambios anteriores se ha incluido en una mayor ("main_Ground_tx.vi") sobre la que se trabajará a partir de ahora. Las entradas (figura 15) han sido elegidas para tener un acceso directo a las opciones de la transmisión y únicamente se empleará una salida para el control de errores:

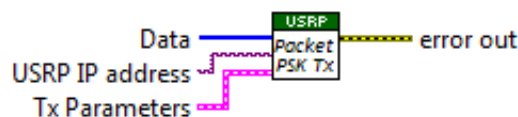


Figura 15 Entradas y salidas de "sub_Send.vi".

4.2.4. Formato de los paquetes

En este apartado se va a continuar con lo ya comentado en el capítulo 3 sobre los telecomandos, dando una explicación de cada elemento. La gran mayoría de estos elementos se encuentran, dentro del código, en una posición de ejecución puntual, es decir, se utiliza el menor número de recursos posibles cargando sus datos sobre el paquete final sólo cuando es indispensable.

4.2.4.1. Packet Header

Sigue la estructura de la figura 16:

| Packet Header (48 b) | | | | | | |
|----------------------|-------------|------------------------|------|--------------------------------|----------------|---------------|
| Packet ID (16 b) | | | | Packet Sequence Control (16 b) | | Packet Length |
| Version Number | Packet Type | Data Field Header Flag | APID | Sequence Flags | Sequence Count | |
| 3 b | 1 b | 1 b | 11 b | 2 b | 14 b | 16 b |

Figura 16 Cabecera del paquete.

- **Packet ID:** estos distintos elementos van a servir para identificar el paquete:
 - *Version Number* indica la estructura de paquete tipo telecomando. Siempre toma valor '000'.
 - *Packet Type* distingue entre paquetes tipo telecomando o telemetría. El valor para telecomandos es '1'.
 - *Data Field Header Flag* indica la presencia o ausencia del campo *Data Field Header*. Todos los paquetes tipo telecomando presentan este campo por lo que siempre toma valor '1'.
 - Application Process ID (APID) se corresponde de manera inequívoca con un proceso de aplicación de a bordo, destino del paquete tipo telecomando.
- **Packet Sequence Control:** elementos para secuencias de paquetes:
 - *Sequence Flags* se emplea para realizar un seguimiento de una serie de paquetes. Puede tomar los siguientes valores:
 - '01', primer paquete de una secuencia.
 - '00', paquete intermedio.
 - '10', último paquete de una secuencia.
 - '11', un único paquete individual.
 - *Sequence Count* identifica a un paquete de telecomando en particular.
- **Packet Length** especifica el número de octetos contenidos en el campo *Packet Data Field* menos 1. Los 16 bits que forman este campo permitirán trabajar con menos restricción aunque se estima que el paquete más largo no superará los 35 octetos.

4.2.4.2. Packet Data Field

Sigue la estructura de la figura 17:

| Packet Data Field (variable) | | | | | | | |
|------------------------------|------------------------------|-----|--------------|-----------------|-----------|------------------|----------------------|
| Data Field Header (32 b) | | | | | | Application Data | Packet Error Control |
| CCSDS Secondary Header flag | TC Packet PUS Version Number | ACK | Service Type | Service Subtype | Source ID | | |
| 1 b | 3 b | 4 b | 8 b | 8 b | 8 b | Variable | 16 b |

Figura 17 Campo de datos del paquete.

- **Data Field Header:** proporciona información de los datos que contiene el telecomando:
 - *CCSDS* (Consultative Committee for Space Data Systems) *Secondary Header Flag* siempre toma el valor '0' para indicar que el campo *PUS Data Field Header* es "cabecera CCSDS secundaria no definida".
 - *TC Packet PUS Version Number* siempre toma el valor '001' porque no se introducen variaciones de versión en la estructura de los telecomandos.
 - *ACK* (Acknowledgement) se utiliza para el asentimiento (aceptación y verificación de ejecución) de paquetes tipo telecomando a la estación de tierra. Existen 3 estados:
 - 'XXX1' (bit 3), aceptación del paquete por el proceso de aplicación.
 - 'XX1X' (bit 2), asentimiento de comienzo de ejecución.
 - 'X1XX' (bit 1), asentimiento de progreso de la ejecución.
 - '1XXX' (bit 0), asentimiento de ejecución completada (independientemente de su resultado).
 Para esta implementación sólo serán posibles los estados 'X00X'.
 - *Service Type* indica el tipo de servicio al que pertenece el telecomando.
 - *Service Subtype* identifica de manera inequívoca la petición de servicio del telecomando.
 - *Source ID* indica el origen del paquete.
- **Application Data** constituye los datos de las peticiones de servicio del usuario.
- **Packet Error Control (PEC)** establece un código de detección de errores para verificar la integridad del paquete.

4.3. Servicios

A continuación se van a desarrollar todos los telecomandos atendiendo al servicio que correspondan y al estándar de la ECSS³. De ahora en adelante se utilizará la forma abreviada para nombrar los telecomandos: (Tipo de servicio, Subtipo). Para la implementación en LabVIEW, se ha optado por dos estructuras tipo *Case*, una para diferenciar el servicio y otra para el telecomando en concreto (figura 18). Ambas se encuentran dentro de un bucle *While* que se ejecuta constantemente para obtener una experiencia más realista.

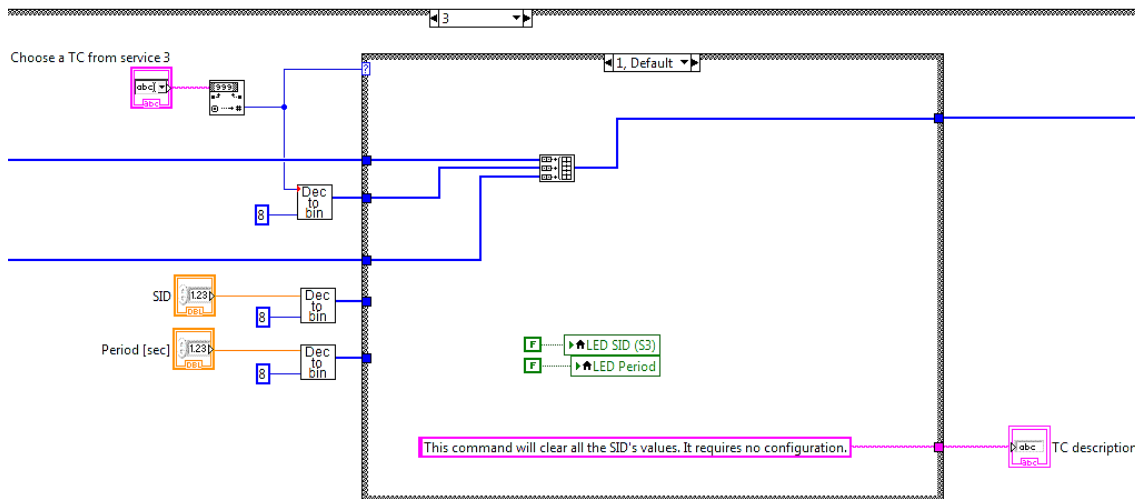


Figura 18 Sección del diagrama de bloques principal (doble estructura Case) para el telecomando (3, 1).

Además, como los datos introducidos por un usuario para escoger entre las opciones de los telecomandos serán números en base decimal, se ha creado una función (figura 19) para transformarlos en binario con el número de bits que se desean emplear (los bits más significativos se encuentran a la izquierda) y así poder concatenarlos en el paquete final.

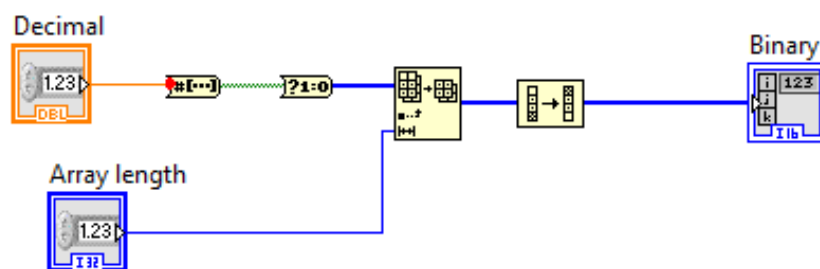


Figura 19 Diagrama de bloques de “sub_dec_to_bin.vi”.

La información de cada servicio se introducirá en el campo *Application Data*.

4.3.1. Servicio 3: Housekeeping y diagnóstico de datos

Este servicio permite comprobar el estado del microprocesador y de los instrumentos de temperatura e imágenes, por lo tanto el satélite va a disponer de dos SID (Structure ID): 1 para el microprocesador y 9 para los instrumentos. Cada SID tiene a su vez dos parámetros que controlar:

- SID 1 – Parámetro 1: temperatura del microprocesador del satélite.
- SID 1 – Parámetro 2: frecuencia media de trabajo del microprocesador.
- SID 9 – Parámetro 1: funcionamiento del sensor de temperatura.
- SID 9 – Parámetro 2: funcionamiento del instrumento de imágenes.

Para observar y obtener los datos se necesita de la siguiente lista de telecomandos.

4.3.1.1. Clear Housekeeping parameter report definitions (3,1)

Basado en el telecomando (3,3) del estándar (pág. 65). Es una petición de borrado de las definiciones establecidas para los parámetros de housekeeping predefinidos, escogiendo un SID para borrarlo completamente. La estructura es la representada en la figura 20:

| |
|-----|
| SID |
| 8 b |

Figura 20 Datos de aplicación del telecomando (3,1),

4.3.1.2. Enable Housekeeping report generation (3,3)

Basado en el telecomando Enable Housekeeping Parameter Report Generation (3,5) del estándar (pág. 65). Activa la recolección de datos de housekeeping de un determinado SID. La estructura es la misma que para el (3,1).

4.3.1.3. Disable Housekeeping Report generation (3,4)

Basado en el telecomando Disable Housekeeping Parameter Report Generation (3,6) del estándar (pág. 65). Desactiva la recolección de datos de housekeeping de un determinado SID. La estructura es la misma que para el (3,1).

4.3.1.4. Request Housekeeping parameter report generation (3,5)

Solicita un reporte con la recolección de datos de housekeeping de un determinado SID. La estructura es la misma que para el (3,1).

4.3.1.5. Update Housekeeping report generation period (3,7)

Actualiza el período de recolección de datos de housekeeping de un determinado SID a partir de uno recibido anteriormente con el telecomando (3,8). No tiene datos de aplicación.

4.3.1.6. Define Housekeeping report interval (3,8)

Modifica el período de recolección de datos (en segundos) de housekeeping de un determinado SID. Dicho valor se guarda en memoria hasta que se recibe el telecomando (3,7) y se hace efectivo. La estructura es la representada en la figura 21:

| | |
|-----|--------|
| SID | Period |
| 8 b | 24 b |

Figura 21 Datos de aplicación del telecomando (3,8).

4.3.2. Servicio 5: Eventos

Este servicio permite gestionar eventos de diferente gravedad mediante el campo *RID* (Report ID). El satélite dispone de 3 eventos diferentes para cada nivel:

- **Leve**, son solo avisos a tener en cuenta:
 - Cambio de orientación del panel solar (RID 7).
 - Bajo aumento de temperatura (RID 8).
 - Borrado de sector de memoria RAM (RID 9).
- **Media**, requiere una acción desde la estación de tierra:
 - Fallo de un sector de memoria (RID 62).
 - Temperatura alta del instrumento de imágenes (RID 63).
 - Repliegue de panel solar necesario (RID 64).
- **Grave**, el ordenador de a bordo toma medidas:
 - Fallo del microprocesador (RID 85).
 - Fallo en el sistema de alimentación (RID 86).
 - Temperatura muy elevada en el sensor (RID 87).

La forma que tiene el usuario que maneje la aplicación de gestionar el funcionamiento de los eventos es mediante los siguientes telecomandos.

4.3.2.1. Enable event report generation (5,5)

Basado en el telecomando `Enable Event Report Generation (5,5)` del estándar (pág. 80). Activa la generación de reportes de eventos para un RID en concreto. La estructura es la representada en la figura:

| |
|-----|
| RID |
| 8 b |

Figura 22 Datos de aplicación del telecomando (5,5).

4.3.2.2. Disable event report generation (5,6)

Basado en el telecomando `Disable Event Report Generation (5,6)` del estándar (pág. 80). Desactiva la generación de reportes de eventos para un RID en concreto. La estructura es la misma que para el (5,5).

4.3.2.3. *Clear event log (5,16)*

Elimina por completo el historial de eventos en el ordenador de a bordo. No tiene datos de aplicación.

4.3.2.4. *Report enabled event packets (5,17)*

Solicita una lista con todos los procesos, identificados con un RID, cuyo estado de generación de reportes se encuentra activado. No tiene datos de aplicación.

4.3.2.5. *Report disabled event packets (5,19)*

Solicita una lista con todos los procesos, identificados con un RID, cuyo estado de generación de reportes se encuentra desactivado. No tiene datos de aplicación.

4.3.3. Servicio 6: Gestión de memoria

Este servicio ofrece la posibilidad de volcar datos de una memoria a otra. El satélite cuenta con 3 memorias:

- Memoria interna. Es una matriz de dimensiones 65536 bloques x 64 bits en cada bloque.
- Memoria RAM (Random Access Memory). Es una matriz de dimensiones 10 bloques x 64 bits en cada bloque.
- Memoria ROM (Read Only Memory). Es una matriz de dimensiones 65536 bloques x 64 bits en cada bloque.

Las dimensiones de las matrices varía dependiendo de la carga que pueda soportar el USRP y del rendimiento que se quiera obtener de la aplicación, puesto que nos encontramos ante una implementación simple por hardware pero que al simular requiere más recursos.

Si se desea gestionar la memoria del satélite, debe hacerse mediante los siguientes telecomandos.

4.3.3.1. *Load data into memory (6,1)*

Basado en el telecomando `Load Memory using Absolute Addresses (6, 2)` del estándar (pág. 85). Carga los datos seleccionados en la memoria dinámica o RAM a partir de una dirección de memoria absoluta y una longitud. La estructura es la representada en la figura (23):

| Start Address | Length | Spare |
|---------------|--------|-------|
| 16 b | 4 b | 4 b |

Figura 23 Datos de aplicación del telecomando (6,1).

Se han añadido 4 bits de relleno (todo ceros) para alcanzar un número entero de octetos. El satélite, tras recibir este telecomando, empezará a cargar el bloque indicado por el campo *Start Address* y continuará con tantos bloques como se indiquen en el campo *Length*.

4.3.3.2. Dump memory area (6,2)

Basado en el telecomando `Dump Memory using Absolute Addresses` (6, 5) del estándar (pág. 87). Solicita el volcado de los datos de la memoria RAM, es decir, que se envíen a tierra. No tiene datos de aplicación.

4.3.3.3. Check memory (6,4)

Basado en el telecomando `Check Memory using absolute addresses` (6, 9) del estándar (pág. 88). Realiza una comprobación del formato de los datos almacenados en la memoria del sistema. No tiene datos de aplicación.

4.3.3.4. Preload ROM data (6,16)

Carga los datos de la ROM sobre la memoria del sistema. No tiene datos de aplicación.

4.3.4. Servicio 9: Gestión del tiempo

Este servicio soluciona desajustes en la hora de la estación orbital así como cambios horarios. Es posible utilizar el tiempo del sistema de a bordo mediante los siguientes telecomandos.

4.3.4.1. Set OBT (On-Board Time) (9,1)

Cambia el tiempo de a bordo por el recibido. El usuario puede elegir, mediante un interruptor, qué tiempo se cargará en el telecomando, si el tiempo de su sistema o uno introducido por él. Para cualquier elección, la estructura es la representada en la figura 24:

| Day | Month | Year | Spare | Hour | Minute | Second |
|-----|-------|------|-------|------|--------|--------|
| 5 b | 4 b | 12 b | 2 b | 5 b | 6 b | 6 b |

Figura 24 Datos de aplicación del telecomando (9,1).

- *Day*: 5 bits implican un valor máximo de 32 días, suficiente para cualquier mes del año.
- *Month*: 4 bits implican un valor máximo de 16 meses, suficiente para un año terrestre.
- *Year*: 12 bits implican un valor máximo de 4096 años, lo cual supera ampliamente la “esperanza de vida” de los componentes físicos del satélite.

- *Hour*: 5 bits implican un valor máximo de 32 horas, suficiente para un día.
- *Minute*: 6 bits implican un valor máximo de 64 minutos, suficiente para una hora.
- *Second*: 6 bits implican un valor máximo de 64 segundos, suficiente para un minuto.

Se han añadido 2 bits de relleno o *Spare* para alcanzar un número entero de octetos.

4.3.4.2. Request OBT (9,2)

Solicita el tiempo que tiene el sistema de a bordo. No tiene datos de aplicación.

4.3.5. Servicio 11: Gestión del planificador de telecomandos

Este servicio controla el planificador del satélite para poder guardar órdenes y ejecutarlas en una fecha concreta. La aplicación cuenta con 4 planificadores distintos y cada uno puede almacenar 1 telecomando. El usuario que maneje la aplicación deberá usar los siguientes telecomandos si desea modificar los planificadores.

4.3.5.1. Enable TC Schedule (11,1)

Basado en el telecomando `Enable Release of Telecommands` (11, 1) del estándar (pág. 104). Habilita la ejecución de la lista de telecomandos del sistema de planificación. No tiene datos de aplicación.

4.3.5.2. Disable TC Schedule (11,2)

Basado en el telecomando `Disable Release of Telecommands` (11, 2) del estándar (pág. 105). Deshabilita la ejecución de la lista de telecomandos del sistema de planificación. No tiene datos de aplicación.

4.3.5.3. Reset TC Schedule (11,3)

Basado en el telecomando `Reset Command Schedule` (11, 3) del estándar (pág. 106). Elimina de forma permanente toda la lista de telecomandos del sistema de planificación dejándola vacía. No tiene datos de aplicación.

4.3.5.4. Insert TC in Command Schedule (11,4)

Basado en el telecomando `Insert Telecommands in Command Schedule` (11, 4) del estándar (pág. 105). Inserta un telecomando en la lista del sistema de planificación que se ejecutará, si el sistema está activado, cuando se haya especificado. La estructura es la representada en la figura 25:

| Schedule ID | Abs Time Tag | Telecommand packet |
|-------------|--------------|--------------------|
| 8 b | 40 b | Variable |

Figura 25 Datos de aplicación del telecomando (11, 4).

- *Schedule ID* elige uno de los 4 planificadores en el que insertar el telecomando.
- *Abs Time Tag* utiliza los mismos campos que el telecomando (9, 1) y es donde se incluye la fecha de ejecución.
- *Telecommand packet* contiene el paquete completo (con todas las cabeceras) del telecomando a insertar.

4.3.5.5. Delete TC in Command Schedule (11,5)

Basado en el telecomando Delete Telecommands (11, 5) del estándar (pág. 108). Borra permanentemente de la lista de telecomandos un telecomando identificado con su correspondiente *Schedule ID*. La estructura es la representada en la figura 26:

| Schedule ID |
|-------------|
| 8 b |

Figura 26 Datos de aplicación del telecomando (11, 5).

4.3.5.6. Time shift to selected TC (11,6)

Basado en el telecomando Time Shift Selected Telecommands (11, 7) del estándar (pág. 110). Cambia la fecha de ejecución a un telecomando de la lista del planificador identificado con su correspondiente *Schedule ID*. La estructura es la representada en la figura 27:

| Schedule ID | Abs Time Shift |
|-------------|----------------|
| 8 b | 40 b |

Figura 27 Datos de aplicación del telecomando (11, 6).

El campo *Abs Time Shift* utiliza los mismos campos que el telecomando (9, 1) e incluye la nueva fecha de ejecución.

4.3.5.7. Report subset of command schedule (11,7)

Basado en el telecomando Report Subset of Command Schedule in Detailed Form (11, 9) del estándar (pág. 112). Solicita un subconjunto de telecomandos de la lista de planificación del satélite por el *Schedule ID* asociado. La estructura es la representada en la figura 28:

| | |
|-----|-------------|
| N | Schedule ID |
| 8 b | N x 8 b |

Figura 28 Datos de aplicación del telecomando (11, 7).

- *N* es el número de elementos de la lista que se solicitan.
- *Schedule ID* se repetirá tantas veces como indique el campo *N* e identifican los telecomandos solicitados.

4.3.6. Servicio 12: Monitorización de a bordo

Este servicio tiene su utilidad en controlar parámetros sobre el estado del satélite. En esta implementación, los parámetros están predefinidos y son los ya explicados en el servicio 3. Acciones tales como activar y desactivar la medición de la temperatura del microprocesador, e incluso eliminar o añadir un parámetro a la lista de monitorización Son las que se incluyen en los siguientes telecomandos.

4.3.6.1. Enable monitoring of parameters (12,1)

Basado en el telecomando Enable Monitoring of Parameters (12, 1) del estándar (pág. 123). Habilita la monitorización del parámetro especificado siguiendo la numeración explicada en el Servicio 3. La estructura es la representada en la figura 29:

| | | |
|-----|-----------|-------|
| SID | Parameter | Spare |
| 8 b | 3 b | 5 b |

Figura 29 Datos de aplicación del telecomando (12, 1).

Se le añade un relleno de todo ceros para llegar a un número entero de octetos.

4.3.6.2. Disable monitoring of parameters (12,2)

Basado en el telecomando Disable Monitoring of Parameters (12, 2) del estándar (pág. 123). Deshabilita la monitorización del parámetro especificado siguiendo la numeración explicada en el Servicio 3. La estructura es la misma que para el (12,1).

4.3.6.3. Clear monitoring list (12,4)

Basado en el telecomando Clear Monitoring List (12, 4) del estándar (pág. 124). Elimina todos los parámetros de la lista así como sus estados de monitorización. No contiene datos de aplicación.

4.3.6.4. Add parameter to monitoring list (12,7)

Basado en el telecomando Add Parameters to Monitoring List (12,5) del estándar (pág. 125). Añade un solo parámetro a la lista de monitorización indicando su SID y el número de parámetro. La estructura es la misma que para el (12,1).

4.3.6.5. Delete parameter from monitoring list (12,8)

Basado en el telecomando Delete Parameters from Monitoring List (12,6) del estándar (pág. 127). Elimina un parámetro de la lista de monitorización indicando su SID y el número de parámetro. La estructura es la misma que para el (12,1).

4.3.6.6. Report current monitoring list (12,9)

Basado en el telecomando Report Current Monitoring List (12,8) del estándar (pág. 129). Solicita la lista de parámetros incluidos en la lista de monitorización. No tiene datos de aplicación.

4.3.7. Servicio 15: Test de conexión

Este servicio representa un intercambio de paquetes sencillo para comprobar que todos los elementos reciben la información. Para hacer uso del test de conexión sólo es necesario un telecomando.

4.3.7.1. Request connection test (15,1)

Basado en el telecomando Perform Connection Test (17,1) del estándar (pág. 167). Solicita un test de conexión. No tiene datos de aplicación.

4.3.8. Servicio 32: Instrumento sensor de temperatura

Este servicio hace uso de los sensores de temperatura del satélite. Los telecomandos que conforman las órdenes para el sensor de temperatura son en general mensajes vacíos.

4.3.8.1. Switch on instrument (32,1)

Enciende el instrumento. No tiene datos de aplicación.

4.3.8.2. Switch off instrument (32,2)

Apaga el instrumento. No tiene datos de aplicación.

4.3.8.3. *Change time acquisition interval (32,3)*

Guarda un nuevo intervalo de adquisición (en segundos) de datos de temperatura en memoria, pero no empieza a utilizarse hasta recibir el telecomando (32, 6). La estructura es la representada en la figura 30:

| |
|-------------------|
| Time acq interval |
| 16 b |

Figura 30 Datos de aplicación del telecomando (32, 3).

El límite viene dado por el número de bits: $1'67772 \cdot 10^7$ s, aproximadamente 6 meses y medio.

4.3.8.4. *Request time acquisition interval (32,4)*

Solicita el intervalo actual de adquisición de datos de temperatura. No tiene datos de aplicación.

4.3.8.5. *Update time acquisition interval (32,6)*

Actualiza el intervalo de adquisición de datos de temperatura. No tiene datos de aplicación.

4.3.8.6. *Request data (32,7)*

Pide los datos tomados por el sensor de temperatura. No tiene datos de aplicación.

4.3.8.7. *Abort data transfer (32,9)*

Aborta la transmisión de datos de temperatura. No tiene datos de aplicación.

4.3.8.8. *Test instrument (32,16)*

Comprueba el correcto funcionamiento del sensor de temperatura. No tiene datos de aplicación.

4.3.9. Servicio 64: Instrumento de imágenes

Este servicio hace uso del instrumento de imágenes conectado al satélite. Los telecomandos que conforman las órdenes para todo lo relacionado con las imágenes son en general mensajes vacíos, idénticos a los del servicio 32.

4.3.9.1. *Switch on instrument (64,1)*

Enciende el instrumento. No tiene datos de aplicación.

4.3.9.2. *Switch off instrument (64,2)*

Apaga el instrumento. No tiene datos de aplicación.

4.3.9.3. *Change time acquisition interval (64,3)*

Guarda un nuevo intervalo de adquisición (en segundos) de imágenes en memoria, pero no empieza a utilizarse hasta recibir el telecomando (64,6). La estructura es la representada en la figura 31:

| |
|-------------------|
| Time acq interval |
| 16 b |

Figura 31 Datos de aplicación del telecomando (64,3).

El límite viene dado por el número de bits: $1'67772 \cdot 10^7$ s, aproximadamente 6 meses y medio.

4.3.9.4. *Request time acquisition interval (64,4)*

Solicita el intervalo actual de adquisición de imágenes. No tiene datos de aplicación.

4.3.9.5. *Update time acquisition interval (64,6)*

Actualiza el intervalo de adquisición de imágenes. No tiene datos de aplicación.

4.3.9.6. *Request data (64,7)*

Pide la última imagen tomada por el instrumento de imágenes. No tiene datos de aplicación.

4.3.9.7. *Abort data transfer (64,9)*

Aborta la transmisión de la imagen. No tiene datos de aplicación.

4.3.9.8. *Test instrument (64,16)*

Comprueba el correcto funcionamiento del instrumento. No tiene datos de aplicación.

4.3.10. Servicio 128: Reiniciar

Este servicio únicamente reinicia la estación orbital, y debido a esa exclusiva utilidad, sólo se necesita un telecomando.

4.3.10.1. *Reboot (128,1)*

Reinicia el software del satélite. No tiene datos de aplicación.

4.4. Interfaz de usuario

Llegados a este punto el número de entradas de datos que se tiene en la aplicación es elevado, y por ello la forma más ordenada de ofrecer la selección de

telecomandos y de ocultar las entradas que no se necesitan para el comando a enviar es un contenedor de pestañas (nombre del elemento: “Tab Control”). A cada servicio se le ha asignado una pestaña, y dentro de cada una de ellas se encuentra un selector de telecomandos y los campos que puedan ser necesarios, así como un botón de enviar (figura 32).

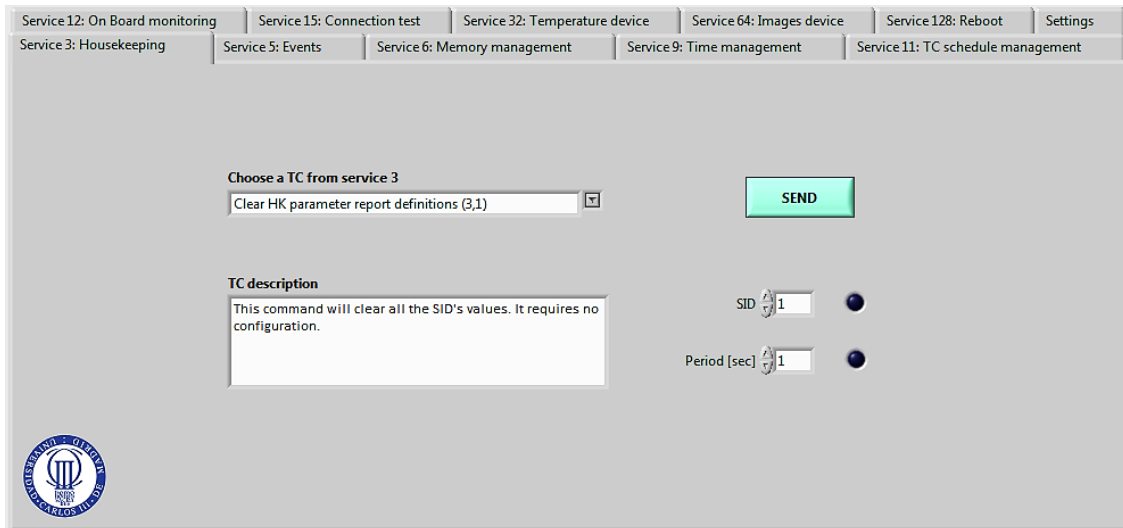


Figura 32 Sección del panel frontal con la selección de servicios.

Con el objetivo de agilizar la transmisión de telecomandos, se ha incluido una breve descripción en todos los servicios (distinta para cada telecomando) y un led en cada entrada, el cual se iluminará (figura 33) en el caso en el que la entrada que representa fuese a ser utilizada en la construcción del paquete del telecomando elegido.

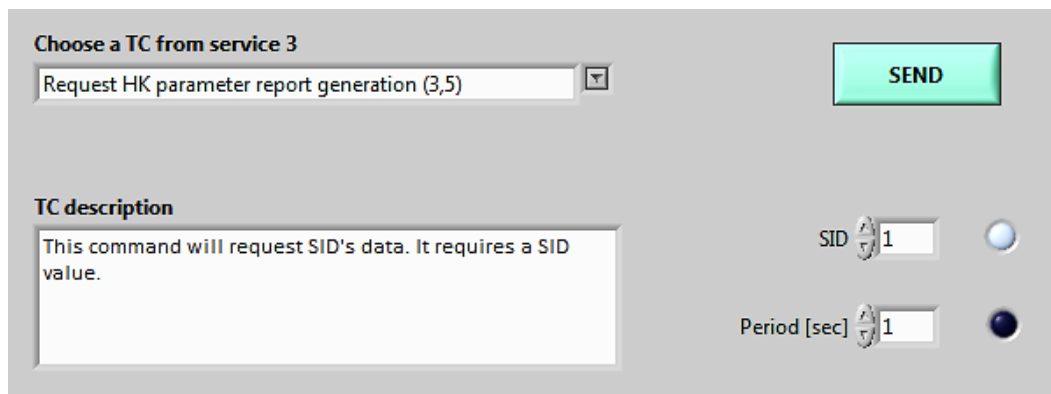


Figura 33 Entradas y breve descripción para el telecomando (3,5).

4.4.1. Control de las entradas y errores

Es común que, si no hay limitaciones, se produzcan errores al introducir datos fuera de rango o incorrectos. Para solucionar estos incidentes, en LabVIEW es posible acotar los valores máximos y mínimos de un campo, o incluso no permitir que se introduzca a mano un valor cualquiera. Así se ha trabajado en esta aplicación, tanto en

los desplegables y entradas como en las estructuras del diagrama de bloques que siguen un caso por defecto si lo introducido no es válido. Y para el caso puntual de los meses que tienen 30 o 28 días (figura 34), no se llega a enviar un valor 31 pues se fuerza a ser el último día del mes en cuestión, lo cual se informa en la descripción del comando en cuestión (la información enviada podrá verse en un indicador en el apartado 4.6).

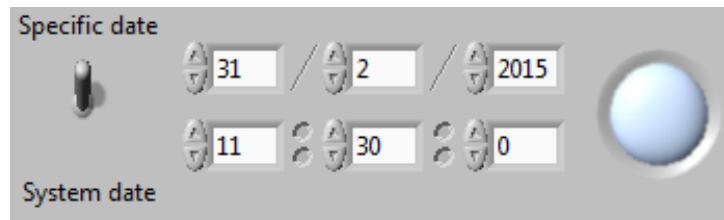


Figura 34 Fecha incorrecta para el telecomando (9,1).

En cuanto a los errores producidos dentro del software, solo se ha tenido en cuenta la señal de error del VI “sub_Send” puesto que es crítica para el correcto funcionamiento. Así pues, un error hace iluminarse una barra led y emite un sonido intuitivo de fallo. Además, el botón para cerrar la aplicación dispone de una segunda comprobación (figura 35) por si se ha pulsado sin esa intención y un audio de cierre.

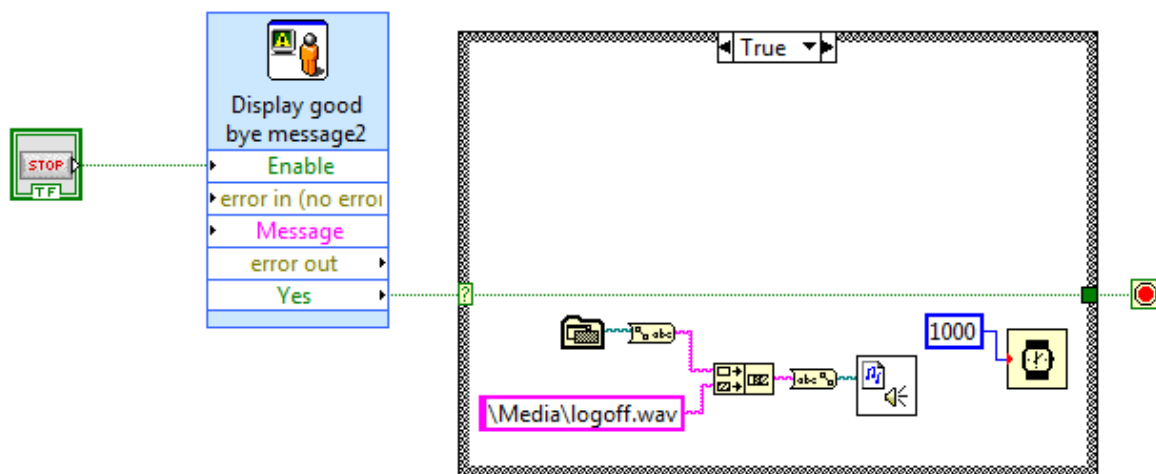


Figura 35 Diagrama de bloques para el cierre de la aplicación con sonido.

4.4.2. Decoración

La interfaz de LabVIEW puede resultar un poco dura a primera vista, pero existen elementos decorativos que nos pueden ayudar a conseguir no solo una estética mejor, sino también más real y ordenada. También resulta agradable disponer de sonidos, distintos colores y leds que den sensación de estar en funcionamiento. Otro detalle es la personalización de botones, para así poder adecuarlos a diferentes situaciones (figura 36).

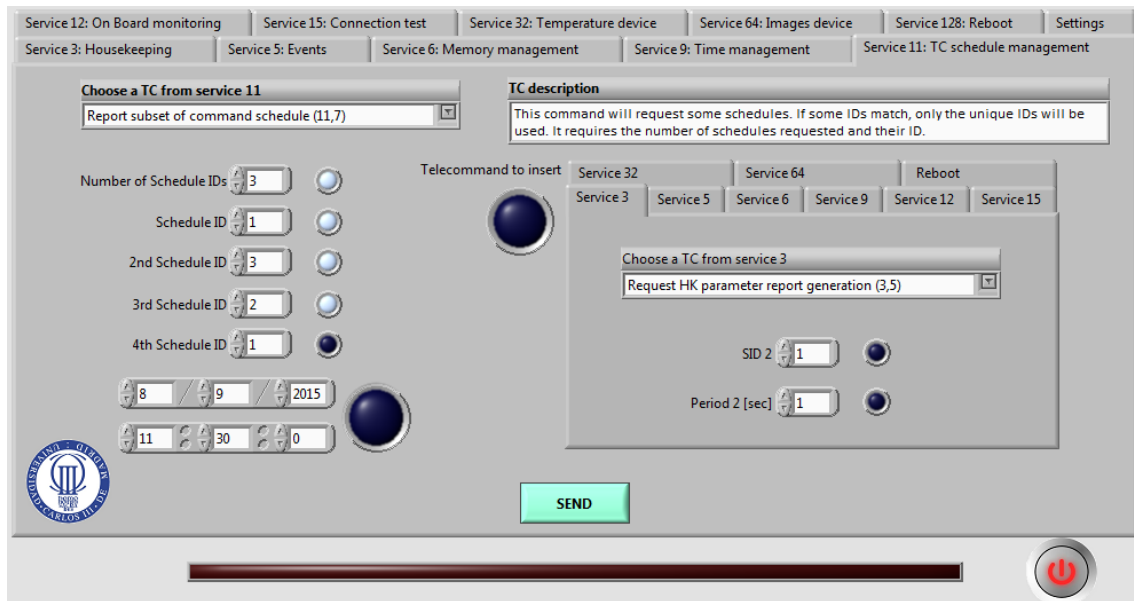


Figura 36 Panel frontal definitivo sin log del último comando transmitido.

4.5. Inicio de sesión y registro de actividad

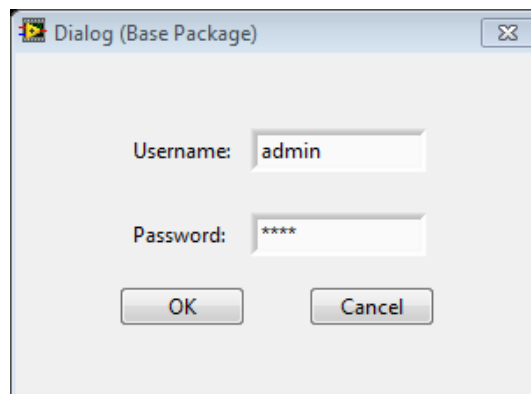


Figura 37 Ventana emergente de inicio de sesión.

Para garantizar un uso exclusivo de ciertos usuarios, se ha impuesto una identificación necesaria para poder usar la aplicación (figura 37). Esta implementación es sencilla, comparando dentro del propio diagrama de bloques y de un único usuario con acceso a todos los telecomandos y ajustes.

Como medida de seguridad y comprobación de errores, se necesita transmitir por pantalla qué está sucediendo, si hay algún error o qué se ha transmitido y dejar constancia en algún fichero. De esto último se encarga el VI “sub_Create_Log” (figura 38), que crea una carpeta específica para ello si no existe, y también un fichero con la fecha del día que se arranque la aplicación. De forma complementaria, el VI “sub_LogFormat” especifica todos los datos contenidos en cada paquete, y esta información es parte de la que se muestra y almacena.

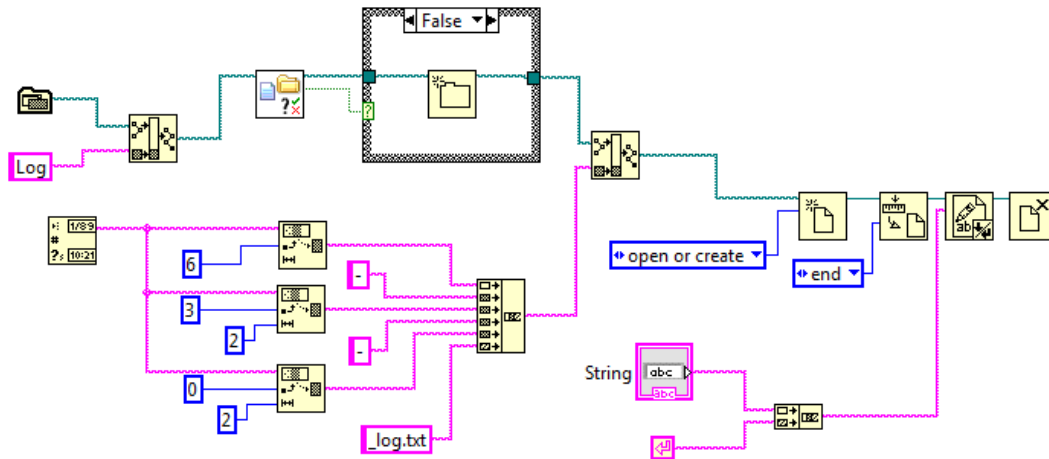


Figura 38 Diagrama de bloques de “sub_Create_Log.vi”.

4.6. Versión definitiva



Ground - TX



Figura 39 Ventana emergente de inicialización.

Como inicio finalmente se ha añadido esta imagen en una ventana emergente con un tiempo de iniciación (figura 39), la cual se está ejecutando a la vez que se inicializan las variables que se van a utilizar. Tras terminar la carga se cerrará y saldrá otra ventana para iniciar sesión. El aspecto final del panel frontal sigue teniendo gran parecido a antes de cambiar la estética por el color gris predominante, pero resalta más la función de cada elemento (figura 40).

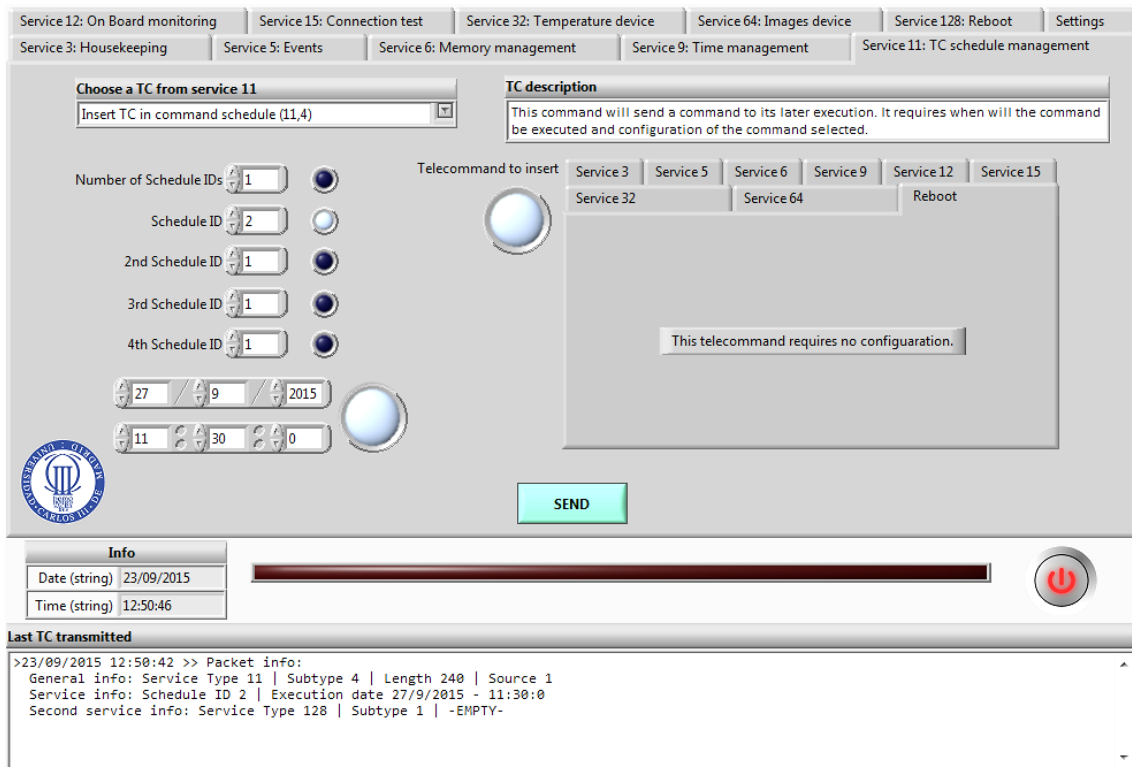


Figura 40 Panel frontal definitivo del VI principal.

Capítulo 5.

ALTERNATIVAS DE DISEÑO

5.1. Aspectos no tenidos en cuenta

Todo lo que se menciona en este apartado no ha sido implementado de forma parcial o en su totalidad por motivos relacionados con la sencillez de la aplicación y prioridad de otros aspectos.

5.1.1. Números decimales

Ofrecer la posibilidad de usar decimales para algunos valores como el período de toma de medidas supone una carga de trabajo mayor que las ventajas que aporta, pues se considera suficiente un intervalo de 1 s para situaciones críticas. En caso de decidir aplicarlo se habría reducido el valor máximo para cada campo y se distinguiría entre bits de la parte entera y bits de la parte decimal. Este valor se puede apreciar también en cualquier ordenador, pues los datos sobre la CPU y otros componentes se actualizan cada segundo.

5.1.2. Campos del paquete sin utilizar

Algunos campos de los definidos para el formato de telecomando no se aprovechan. En el caso del ACK, los bits 1 y 2 no se utilizan porque la ejecución es inmediata (lo que implica un valor '1' en el bit 3), y el bit 0 mantiene el valor '1' porque la recepción de telemetría se encuentra separada de la transmisión y no se tiene conocimiento de si han llegado o no los paquetes. Tampoco se hace uso del campo PEC puesto que requiere diseñar o aplicar una detección de errores del paquete, y eso reduciría el tiempo de trabajo sobre la correcta formación del paquete.

5.1.3. Datos de aplicación del estándar

El estándar empleado ofrece multitud de telecomandos asociados a distintos servicios con un formato recomendado para el campo *Application Data*. Cada

telecomando ha sido ideado a partir de esas bases y con atención a los requisitos del problema, pero no aplica completamente la estructura provista por el estándar. Esta decisión se debe a que ciertos campos no son soportados o sólo hay un valor posible y a que pueden derivar en un paquete largo y difícil de analizar.

5.2. Posibles mejoras

Siempre existe margen para mejorar cualquier trabajo, y esta aplicación, como se ha visto en el apartado anterior, puede aumentar su calidad y eficiencia aún más.

5.2.1. Unificar recepción y transmisión

La definición de este trabajo no se entiende sin otro complementario para la recepción y viceversa, y es por ello que la unión de ambas partes mejoraría la eficiencia de la aplicación al tener una visión global de toda la información. LabVIEW permite la ejecución en paralelo de varios bucles por lo que no existe ningún problema para esta fusión. Dicho conjunto favorecería a la vez la explotación de todos los campos de la estructura del paquete, por ejemplo, se puede implementar la variación de los estados de ACK.

5.2.2. USRP-293X

El USRP-293X [8] incorpora GPS, lo cual mejora la precisión de reloj y permite la sincronización mundial de dispositivo y posición. El proyecto puede mudarse a este otro periférico para poder incorporar otras funciones como distinguir el origen de los comandos transmitidos

5.2.3. Ampliar los datos de aplicación

Puesto que no se dispone de la estructura exacta que sugiere el estándar, otra mejora sería seguirla en su totalidad siempre y cuando la estación orbital se desarrolle a la par y lo admita.

5.2.4. Diferenciación segura de usuarios y jerarquía.

En la versión actual solo se considera un usuario con acceso a todos los telecomandos, pero esto puede aumentarse. Una distinción de usuario permite diferenciar el origen de los paquetes que se envíen, pero también puede hacer posible una asignación de permisos y según qué usuario haya iniciado sesión, permitir o no la transmisión de telecomandos críticos para el funcionamiento del satélite. Un ejemplo de esta utilidad puede ser permitir únicamente la descarga de fotografías, puesto que un usuario sin autoridad y ajeno al proyecto tendrá, por lo general, un mayor interés en ese servicio.

En cuanto a una diferenciación segura, se hace alusión al cifrado de archivos y ocultación de los datos de inicio de sesión. Actualmente se hace una comprobación con constantes que contienen el nombre de usuario y la contraseña pero ocultos. Lo que se propone es un uso de documentos cifrados que contengan la información delicada y la aplicación sea capaz de ocultarla a los intrusos.

Capítulo 6.

RESULTADOS Y EVALUACIÓN

6.1. Pruebas

Las diferentes pruebas han sido realizadas de forma independiente y una vez que se ha terminado la implementación previa correspondiente.

6.1.1. Prueba de transmisión y recepción

En estas pruebas es indispensable haber desarrollado los telecomandos y la capacidad de transmisión. Lo que se va a probar es la transmisión y recepción de paquetes de telecomando. A continuación se muestra el número de intentos realizados de transmisión (la estación terrestre) y cuantos paquetes han llegado a su destino (estación orbital) mediante la tabla 3:

Tabla 3 Pruebas de transmisión y recepción.

| | TC/TM | Paquetes Tx | Paquetes Rx | Porcentaje acierto | Tasa Tx/Rx |
|------------|----------|-------------|-------------|--------------------|------------|
| Servicio 3 | TC(3,1) | 23 | 21 | 91,30 | 1,10 |
| | TC(3,3) | 33 | 28 | 84,85 | 1,18 |
| | TC(3,4) | 33 | 29 | 87,88 | 1,14 |
| | TC(3,5) | 41 | 36 | 87,80 | 1,14 |
| | TC(3,7) | 38 | 36 | 94,74 | 1,06 |
| | TC(3,8) | 40 | 38 | 95,00 | 1,05 |
| Servicio 5 | TC(5,5) | 50 | 47 | 94,00 | 1,06 |
| | TC(5,6) | 50 | 45 | 90,00 | 1,11 |
| | TC(5,16) | 30 | 28 | 93,33 | 1,07 |
| | TC(5,17) | 40 | 31 | 77,50 | 1,29 |
| | TC(5,19) | 40 | 29 | 72,50 | 1,38 |
| Servicio 6 | TC(6,1) | 35 | 30 | 85,71 | 1,17 |
| | TC(6,2) | 30 | 28 | 93,33 | 1,07 |
| | TC(6,4) | 50 | 47 | 94,00 | 1,06 |

| | | | | | |
|---------------------|-----------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| | TC(6,16) | 35 | 33 | 94,29 | 1,06 |
| Servicio 9 | TC(9,1) | 60 | 54 | 90,00 | 1,11 |
| | TC(9,2) | 60 | 56 | 93,33 | 1,07 |
| Servicio 11 | TC(11,1) | 60 | 48 | 80,00 | 1,25 |
| | TC(11,2) | 60 | 47 | 78,33 | 1,28 |
| | TC(11,3) | 40 | 37 | 92,50 | 1,08 |
| | TC(11,4) | 65 | 55 | 84,62 | 1,18 |
| | TC(11,5) | 30 | 24 | 80,00 | 1,25 |
| | TC(11,6) | 35 | 32 | 91,43 | 1,09 |
| | TC(11,7) | 30 | 25 | 83,33 | 1,20 |
| Servicio 12 | TC(12,1) | 40 | 37 | 92,50 | 1,08 |
| | TC(12,2) | 40 | 36 | 90,00 | 1,11 |
| | TC(12,4) | 30 | 28 | 93,33 | 1,07 |
| | TC(12,7) | 45 | 39 | 86,67 | 1,15 |
| | TC(12,8) | 45 | 40 | 88,89 | 1,13 |
| | TC(12,9) | 35 | 30 | 85,71 | 1,17 |
| Servicio 15 | TC(15,1) | 58 | 52 | 89,66 | 1,12 |
| Servicio 32 | TC(32,1) | 40 | 37 | 92,50 | 1,08 |
| | TC(32,2) | 40 | 37 | 92,50 | 1,08 |
| | TC(32,3) | 30 | 26 | 86,67 | 1,15 |
| | TC(32,4) | 28 | 26 | 92,86 | 1,08 |
| | TC(32,6) | 27 | 26 | 96,30 | 1,04 |
| | TC(32,7) | 35 | 28 | 80,00 | 1,25 |
| | TC(32,9) | 32 | 28 | 87,50 | 1,14 |
| | TC(32,16) | 45 | 44 | 97,78 | 1,02 |
| Servicio 64 | TC(64,1) | 40 | 38 | 95,00 | 1,05 |
| | TC(64,2) | 40 | 36 | 90,00 | 1,11 |
| | TC(64,3) | 30 | 27 | 90,00 | 1,11 |
| | TC(64,4) | 30 | 28 | 93,33 | 1,07 |
| | TC(64,6) | 25 | 23 | 92,00 | 1,09 |
| | TC(64,7) | 23 | 20 | 86,96 | 1,15 |
| | TC(64,9) | 20 | 17 | 85,00 | 1,18 |
| | TC(64,16) | 45 | 43 | 95,56 | 1,05 |
| Servicio 128 | TC(128,1) | 48 | 47 | 97,92 | 1,02 |
| Total | | 1879 | 1677 | 89,25 | 1,12 |

Estas pruebas son definitivas y serán las especificaciones de la aplicación, pues jugando con el ratio de muestras transmitidas y la ganancia de transmisión no se aprecia una mejora de los valores mostrados.

6.1.2. Prueba de formación de paquetes

Los paquetes que se envíen deben seguir la estructura indicada en las figuras 11 y 12. La forma de comprobarlo que se ha aplicado consiste en separar grupos de bits

correspondientes a cada campo, y transformarlos a datos que se puedan leer, como por ejemplo pasar números en base binaria a base decimal. Puesto que los dos tipos de cabecera (de paquete y de datos) se construyen de forma simple y mecánica, no da lugar a errores tras realizar breves comprobaciones.

En el caso del campo de datos de aplicación, donde se coloca la configuración del telecomando, la comprobación es más tediosa dada la particularidad de cada comando. El tipo de pruebas efectuado a revelado diferentes fallos en la iluminación de los leds asignados a las entradas (únicamente en el servicio 6), y en la construcción del telecomando 4 del servicio 11. Estos últimos fallos tienen relación con la asignación errónea de entradas y su localización dentro del paquete, lo que se soluciona eliminando las conexiones equivocadas y conectando las entradas adecuadas y en el orden debido. La construcción correcta es la siguiente (figura 41):

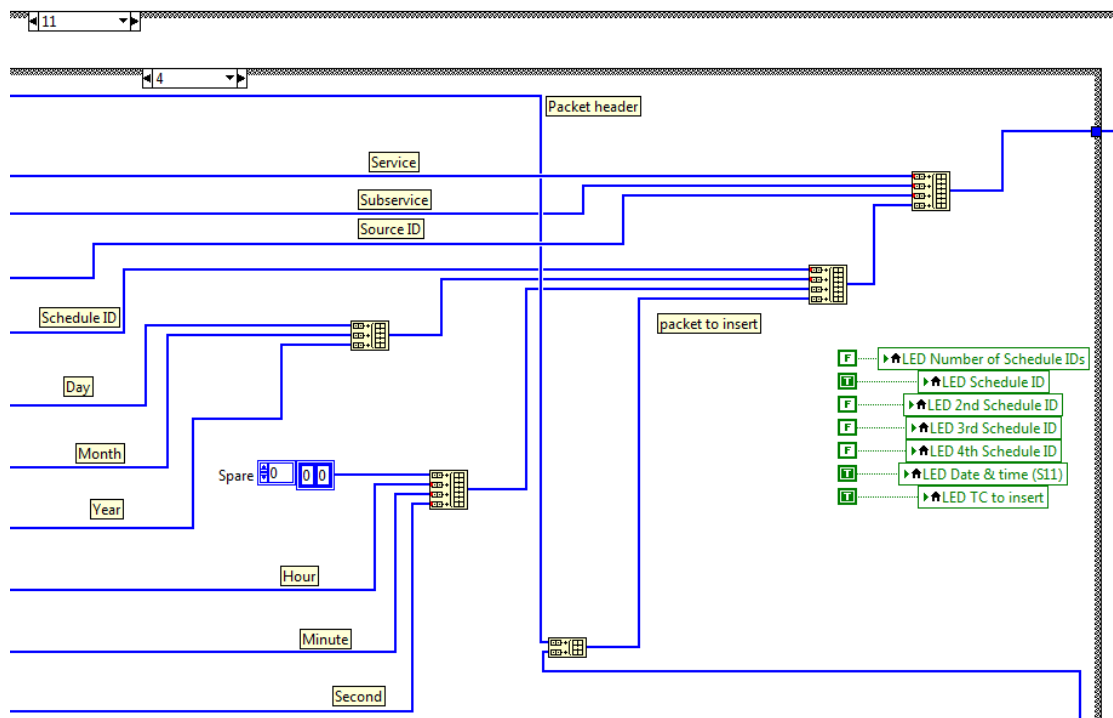


Figura 41 Construcción del telecomando (11, 4).

Estas pruebas no acaban aquí, pues todavía pueden ser introducidos datos incorrectos como valores fuera de rango. Generalmente estos valores vienen determinados por el número de bits asignados, pero en los casos en los que no, debe limitarse en el panel frontal. El único cambio que ha sido necesario aplicar es la limitación del incremento y los decimales 3 entradas de datos.

6.1.3. Prueba de acceso de usuarios y registro de actividad

Esta parte tiene un aspecto que quizás no importa tanto en las otras, y es que es una relación con una persona física. Como propósito, el usuario debe poder interactuar de forma sencilla y clara con la aplicación y a la vez poder elegir cualquier

opción sin provocar fallos en el sistema, y para detectar los fallos se procederá a probar todas las combinaciones de elecciones posibles.

Como principal (e inesperado) error, se tiene que la implementación de sonidos no funciona debido a dos problemas: la forma de acceder al archivo de audio es incorrecta, y el archivo (.wma) está corrupto. La solución se encuentra al cambiar la forma de conseguir la ruta hacia el archivo: antes se aplicaban transformaciones a datos tipo “path”, y ahora una concatenación de datos tipo “string” y transformaciones a tipo “path” y viceversa permiten acceder de forma correcta. En cuanto al archivo de audio se ha sustituido por otro similar.

Otro error, relacionado con la inicialización, es la ausencia de ella cuando se ha arrancado la aplicación varias veces, lo que implica que se mantengan los credenciales en los campos correspondientes. Se puede resolver de forma sencilla introduciendo un valor vacío al enviar los datos. Así, si son correctos no hará falta guardarlos en la ventana de los credenciales, y si son incorrectos también se eliminan para que el usuario se asegure de escribirlos de la forma permitida.

En la sección del registro de actividad se ofrecen muchas combinaciones de información, y por ello es más propensa a sufrir fallos. De forma resumida, han surgido dos tipos de errores: repetición del campo de la fecha y mala concatenación de “strings” o cadenas. La solución al primer problema es fácil de aplicar, pues se elimina la repetición, pero el segundo problema es más extendido aunque no complejo. La dificultad reside en la multitud de casos que se pueden dar y no en todos se contempla de forma correcta cómo actuar, aunque el remedio consista en concatenar cadenas previas según se avanza en la formación de los datos a almacenar.

6.2. Evaluación de resultados

Viendo las situaciones enfrentadas durante las pruebas y cómo se han solventado, el proyecto se encuentra en un estado óptimo de funcionamiento en el cual se evitan todos o casi todos los errores posibles.

A la hora de evaluar los datos de la transmisión y recepción, se puede concluir que es necesario transmitir 1,12 paquetes para poder recibir 1 en la estación orbital. Este dato puede considerarse aceptable, dado que de cada 100 paquetes se pierden casi 11, pero no es un valor muy bueno por el gasto que requiere volver a transmitir los paquetes en algunas situaciones.

En la función transmisora, se permite la repetición de paquetes, pero por la simplificación del receptor del satélite su valor se mantiene en 1, dejando el porcentaje de posibilidades de recibir un telecomando con éxito en 89,25%.

Capítulo 7.

PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO

7.1. Planificación

Para poder llegar a la consecución del proyecto con éxito y en el tiempo esperado es necesario definir una planificación detallada, la cual se seguirá durante todo el desarrollo del proyecto.

La fecha de inicio del proyecto es el 04 de Diciembre de 2014, y la fecha de finalización el 27 de Septiembre de 2015. Entre estas dos fechas se contabilizan 293 días naturales, lo que supone 9 meses y 19 días, pero para poder ser más preciso y planificar las jornadas en base a la realidad se han descontado los fines de semana, los festivos existentes en este periodo (10 festivos) y el periodo vacacional en el que la universidad permanece cerrada (del 6 al 23 de Agosto).

Descontando al periodo estos días se reduce a **188 jornadas** para la consecución del proyecto.

A continuación se describen las tareas definidas que serán planificadas, las cuales están organizadas en 4 grandes bloques, documentación, ejecución, pruebas y conclusiones y memoria.

1. Documentación

- 1.1. Comunicaciones por Satélite: se buscarán los estándares para las comunicaciones espaciales y se recopilará información sobre su estado actual.
- 1.2. Tecnología SDR: se buscarán diferentes hardware y software y la situación actual de este tipo de plataformas.
- 1.3. Entorno de Trabajo: libros, tutoriales y foros relacionados con LabVIEW y los USRP de National Instruments.
- 1.4. Funcionalidades a Implementar: definir qué servicios son posibles de implementar en base a los estándares y sus recomendaciones.

2. Ejecución

- 2.1. Toma Requisitos: escoger qué servicios y funcionalidades son factibles de implementar en el proyecto de acuerdo a un nivel de trabajo no excesivo.
- 2.2. Implementación Transmisión: fase de desarrollo de la sección dedicada a transmitir.
- 2.3. Implementación Servicios: fase de desarrollo de los servicios de la aplicación.
- 2.4. Implementación Interfaz: distribución coherente de los elementos gráficos.
- 2.5. Gestión de Usuario y Actividad: incorporar solicitud de credenciales para permitir utilizar la aplicación e implementar un registro de toda la actividad.

3. Pruebas y Conclusiones

- 3.1. Pruebas Transmisión y Recepción: comprobar y mejorar (si es posible) el porcentaje de éxito al transmitir paquetes hacia la estación orbital.
- 3.2. Pruebas Formación Paquetes: comprobar la correcta formación de todos los paquetes que serán enviados.
- 3.3. Pruebas Acceso Usuarios y Actividad: probar todas las combinaciones que puede realizar un usuario final y verificar el registro de actividad.
- 3.4. Conclusiones: analizar el trabajo realizado y consolidar los aspectos importantes.

4. Memoria

- 4.1. Escritura Memoria: documentar el proyecto paso por paso.
- 4.2. Revisión Memoria: búsqueda de incoherencias o imprecisiones en la Memoria, así como la falta de contenido esencial.

Para la realización de la planificación se han considerado jornadas de 4 horas, es decir, cada día se supone una dedicación de 4 horas para los 188 días, lo que supone un total de 752 horas de dedicación al proyecto.

En la tabla 4 se muestra el desglose del coste que supone cada tarea y las dependencias existentes entre ellas.

Tabla 4 Desglose Tareas del Proyecto.

| Tarea | Dependencias | Nº Jornadas | Nº Horas |
|-----------------------------------|--------------|-------------|------------|
| 1 Documentación | | 37 | 148 |
| 1.1 Comunicaciones por Satélite | | 6 | 24 |
| 1.2 Tecnología SDR | | 6 | 24 |
| 1.3 Entorno de Trabajo | | 15 | 60 |
| 1.4 Funcionalidades a Implementar | 1.1,1.2,1.3 | 10 | 40 |
| 2 Ejecución | | 70 | 280 |

| | | | |
|---|-------------|------------|------------|
| 2.1 Toma Requisitos | 1.4 | 5 | 20 |
| 2.2 Implementación Transmisión | 2.1 | 25 | 100 |
| 2.3 Implementación Servicios | 2.1 | 25 | 100 |
| 2.4 Implementación Interfaz | 2.2,2.3 | 10 | 40 |
| 2.5 Gestión Usuarios y Actividad | 2.4 | 5 | 20 |
| 3 Pruebas y Conclusiones | | 41 | 164 |
| 3.1 Pruebas Transmisión y Recepción | 2.3 | 20 | 80 |
| 3.2 Pruebas Formación Paquetes | 2.2,2.3 | 10 | 40 |
| 3.3 Pruebas Acceso Usuarios y Actividad | 2.5 | 5 | 20 |
| 3.4 Conclusiones | 3.1,3.2,3.3 | 6 | 24 |
| 4 Memoria | | 40 | 160 |
| 4.1 Escritura Memoria | 1.4 | 30 | 120 |
| 4.2 Revisión Memoria | 3.4 | 10 | 40 |
| TOTAL | | 188 | 752 |

Además, se ha definido un diagrama de Gantt (figura 42) donde se puede visualizar de forma más clara el curso de las tareas. En este diagrama se incluye el camino crítico para la consecución del proyecto, representado en color rojo.

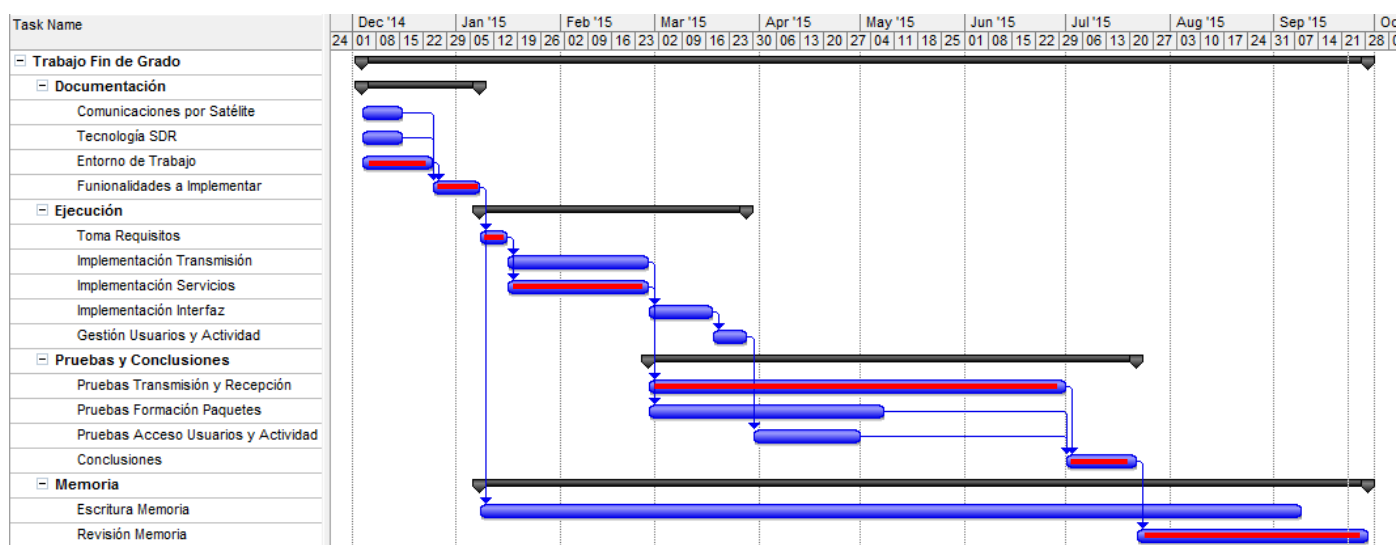


Figura 42 Diagrama de Gantt.

7.2. Presupuesto

En el cálculo del coste del proyecto se han tenido en cuenta los costes directos e indirectos.

Para el caso de los costes directos se distribuyen entre materiales y personal. Los costes materiales son referidos a los elementos necesarios para llevar a cabo el proyecto, estos materiales son los siguientes:

- **3 dispositivos USRP:** estos periféricos vienen preparados para la herramienta LabVIEW, y el modelo utilizado es el USRP-2920. Estos dispositivos son propiedad de la universidad.
- **1 ordenador:** es necesario un ordenador fijo para conectar a los dispositivos USRP. Este ordenador también es propiedad de la universidad.
- **2 ordenadores portátiles:** también han sido necesarios 2 ordenadores portátiles, propiedad de los alumnos.
- **1 licencia LabVIEW:** se ha necesitado una licencia de la herramienta LabVIEW para poder llevar a cabo el proyecto, esta licencia es propiedad de la universidad.

Con la intención de tener el coste más preciso de estos materiales se ha tenido en cuenta la amortización en función del ciclo de vida de cada material.

En la tabla 5 se muestra el resumen de los costes de estos materiales:

Tabla 5 Costes Materiales.

| Costes Material | Precio Unidad (€) | Nº Meses Utilización | Coef. Amortización [18] | Coste (€) |
|------------------------------|-------------------|----------------------|-------------------------|-------------------|
| 3 x NI USRP [19] | 2.870 € | 3,5 | 26% | 652,92 € |
| 1 x Ordenador | 850 € | 6 | 26% | 110,50 € |
| 2 x Ordenador Portátil | 640 € | 6 | 26% | 166,40 € |
| 1 x Licencia LabVIEW [10] | 50.000 € | 3,5 | 26% | 3.791,67 € |
| Total Costes Material | | | | 4.721,49 € |

También se deben incluir los costes de personal a los costes directos dentro del presupuesto. Estos costes son las horas dedicadas por los 3 alumnos de grado y el tutor del proyecto. Los alumnos han dedicado 752 horas cada uno, como ya se había calculado en el apartado de planificación. Por parte del tutor se han dedicado 75 horas, y las tarifas establecidas para cada perfil son 80 €/h para el tutor y 40 €/h por alumno graduado. En resumen, se definen los siguientes costes de personal (tabla 6):

Tabla 6 Costes Personal.

| Costes Personal | Tiempo de Trabajo (horas) | Coste Hora (€/h) | Coste (€) |
|------------------------------|---------------------------|------------------|-----------------|
| Tutor | 75 | 80 € | 6.000 € |
| Alumno Graduado | 752 | 40 € | 30.080 € |
| Alumno Graduado | 752 | 40 € | 30.080 € |
| Alumno Graduado | 752 | 40 € | 30.080 € |
| Total Costes Personal | | | 96.240 € |

Finalmente el proyecto supone un total de costes directos de 100.961,49 €, como se muestra en la tabla 7 a continuación:

Tabla 7 Costes Directos.

| Costes Directos | Coste (€) |
|-----------------------------|---------------------|
| Costes Material | 4.721,49 € |
| Costes Personal | 96.240,00 € |
| Total Coste Directos | 100.961,49 € |

Como se comentaba al inicio del apartado, también se deben tener en cuenta los costes indirectos en el proyecto. Estos costes son los provenientes de aquellos gastos que no pueden ser contabilizados directamente, y dentro de estos gastos se encuentra la electricidad para alimentar los equipos/periféricos, el coste de la conexión a internet necesaria, el arrendamiento de los edificios/locales utilizados, etc. Por la dificultad de determinar con exactitud la cuantía de estos gastos se ha definido como el 20% de los costes directos.

La síntesis del presupuesto total se ha definido la siguiente tabla descriptiva (tabla 8) tras aplicar el IVA [20], donde se aprecia que el coste total de proyecto supone **146.596,08 €**.

Tabla 8 Presupuesto del Proyecto.

| Presupuesto | Coste (€) |
|---|---------------------|
| Costes Directos | 100.961,49 € |
| Costes Indirectos (20% Costes Directos) | 20.192,30 € |
| Total Costes | 121.153,79 € |
| IVA (21%) | 25.442,30 € |
| TOTAL PRESUPUESTO | 146.596,08 € |

Capítulo 8.

CONCLUSIONS / CONCLUSIONES

8.1. English version

Throughout the development of this work, the SDR platform has been analysed. The possibilities offered by these platforms are multiple, and each application developed is different even though they share a common transmission and reception base [3], thus the existence of a community of developers. By these means, the results under observation relate mainly to the requisites presented on chapter 4.

Along this tour and once concluded, the application has been developed aiming to establish a perfect communication within various reception and transmission stations, which is caused by the action of a user. This has almost completely been achieved, since when sending a packet there is a probability of approximately 11% of having to resend the telecommand willing to be processed. The expectations of the other aspects of the simulator maintain high satisfaction rates, as it offers a complete set of information on the current state, as well as a simple and intuitive user interface.

The achievement of these results has been possible thanks to the criteria of a range of people, bringing in different points of view that provide as a whole a global vision of every situation that may arise.

The results of the transmission are the best possible within given conditions by using the designed headers, and even though the transmission parameters can be changed, they remain always similar. Additionally, the graphic interface seeks to call the attention over the important elements using lights and visible colours, with an appropriate meaning to their appearance and tonality. The internal aspects of the solution have required assigning tasks that exceed an understandable size to subdivisions, easing the control of every detail of the application.

As mentioned at the beginning of the development of the application, the transmission's base was not a main goal of the work, as it exceeds the committed

workload, and the final results are therefore accepted despite the performance. As an exception, the headers (concerned to the executed effort), are correctly implemented and considered as useful and valid.

Even though, any other mentioned result must comply with every given requirement to be considered as valid. First, the session log-in works correctly, considering different selected options. The graphic interface perfectly fulfils its function, though it has some constraints as the limit date dependant from the selected month, since the limit cannot be modified with the data entry, although it is noted in the related telecommand description. For the latest phase committed to testing, the satisfactory results allow to state that the registration of the activity have reached the required level.

The final solution has consequently many personal contributions, some more relevant than others. The most visible is the originality and usefulness of the distribution and use of graphic elements that allow an intuitive navigation. The design of the telecommands and headers can be also pointed out, as, even though they are based on standard rules and recommendations [1], have been implemented to suit the needs. A final remarkable contribution is the resource management that allow avoiding unnecessary repeated executions, which could cause an overload on the hardware and collapse the software.

Finally, we can stand out that every objective settled at the inception, not just the requisites of the application, have been widely completed. Thus, the teaching purpose of the work has been accomplished, by the means of the use of a simple and direct language, which avoid arduous or unconnected phrases, and detailed but not too extensive explanations. All in all, the experience gathered is transmitted alongside the faced situations, so that its use will be of benefit for the future researchers and developers willing to continue with the future lines proposed in the present Thesis.

8.1.1. Future research and development

It is possible to continue and further develop the Thesis hereby shown, as there are gaps caused by not to high requirements to close the required effort to the one of a Final Degree Thesis.

Given that, after reviewing the not so good results of the transmission, there can be a continuation to improve its performance applying different modulation and synchronization methods between the emitter and the receiver. This path encloses the need to develop the receiving component at the same time. With this proposition, a fusion of ground stations in one to send and receive by its own can be envisaged, so that the transmission can be processed in parallel with the capture of traffic. It is also possible to apply loss models so as to research the implementation on a more advanced hardware and real cases.

Another possibility to progress from the completion of the work is the creation of new services that could increase the on board functions of the satellite, and therefore the commercial opportunities of the application. This requires, indirectly, a redesign of the telecommands, and possibly of the headers, always subject to the standard [1]. The main development suggestions in this sense are the secure differentiation of users, with different authority levels over the satellite, and identification of each base station. The first of them can be implemented just on Earth applying different credentials, but will also require coding and decoding knowledge to reach high security levels. As for the second, a geographic distribution of base stations would be convenient, and assigning a number to each position, which could be automated if the project is transferred to a system with GPS location.

Finally, there is a gap on the management of memory of the ground station which remains in charge of LabVIEW, and depends on the optimization that this program could reach. With the purpose of being able to control the required resources, the best option to implement it is to migrate the application to another tool or programming language.

8.2. Versión en español

A lo largo de este trabajo se ha analizado la plataforma SDR. Las posibilidades de estas plataformas son muchas y cada aplicación desarrollada es diferente pese a mantener una base en la transmisión y recepción [3], causa de esto es la existencia de una comunidad de desarrolladores. Debido a esto, los resultados objeto de observación guardan relación principalmente con los requisitos presentados en el capítulo 4.

Durante este recorrido y llegado a su conclusión, la aplicación se ha desarrollado en aras de alcanzar una comunicación perfecta entre varias estaciones receptoras y emisoras, provocada por la actuación de un usuario. Esto ha sido alcanzado en casi su totalidad, pues a la hora de enviar existe una probabilidad de aproximadamente el 11% de que sea necesario reenviar el telecomando que se desea hacer efectivo. En los demás aspectos del simulador planteado se mantienen las expectativas en un alto grado de satisfacción, dado que se ofrece toda la información que se pueda requerir sobre el estado actual, y una interfaz intuitiva y sencilla de manejar.

La obtención de estos resultados ha sido posible gracias al criterio de más de una persona, facilitando así diferentes puntos de vista que proporcionan una visión global de todas las situaciones que puedan tener lugar.

Los resultados de la transmisión son los mejores posibles dentro de las condiciones dadas utilizando las cabeceras diseñadas, y aunque se permitan modificar los parámetros de transmisión, siempre son similares. Por otra parte, la interfaz gráfica

ha buscado llamar la atención sobre los elementos importantes haciendo uso de luces y colores visibles de forma clara, con un significado acorde a su aspecto y tonalidad. La parte “interna” de todo esto, ha necesitado de asignar algunas tareas que excedían un tamaño comprensible a subdivisiones, y ello ha facilitado el control de cualquier detalle de la aplicación.

Como ya se comentó al principio del desarrollo de la aplicación, la transmisión no partía como objetivo principal puesto que excedía en la carga de trabajo a realizar, y por ello se consideran válidos los resultados finales a pesar de no ser buenos. Como excepción de esta sección, las cabeceras (que sí conciernen al esfuerzo desempeñado) se emplean de forma correcta se consideran útiles y válidas.

Sin embargo, el resto de resultados mencionados sí deben cumplir todo lo requerido para apreciarlos como válidos. En primer lugar, el inicio de sesión funciona adecuadamente, contemplando las distintas opciones elegidas. La interfaz gráfica cumple su función a la perfección, aunque se encuentra limitada en algunos aspectos como es la fecha limitada dependiente del mes escogido, pues en la introducción de datos no se ha conseguido mover dicho límite, aunque sí se indica en la información del telecomando en cuestión. Para la última parte sometida a pruebas, los resultados satisfactorios permiten decir que el registro de actividad ha alcanzado el nivel requerido.

En consecuencia, la solución final contiene multitud de aportaciones personales, algunas más significantes que otras. La más visible es la originalidad y utilidad en la distribución y uso de los elementos gráficos que permiten la navegación de forma intuitiva. También conviene destacar el diseño de los telecomandos y las cabeceras, los cuales, aunque tienen origen en las normas y recomendaciones del estándar [1], se han implementado en función de las necesidades. Una última aportación remarcable es la gestión de recursos, permitiendo evitar ejecuciones repetidas de forma innecesaria y que propician una sobrecarga en el hardware y el colapso del software.

Se destaca que todos los objetivos que se propusieron durante el inicio, no solamente los requisitos de la aplicación, han llegado a cumplirse ampliamente. Así pues, se satisface el objetivo docente gracias al uso de un lenguaje sencillo y directo, que ha evitado frases arduas e inconexas, y también de explicaciones detalladas pero sin llegar a ser demasiado extensas. Con todo esto, se transmite la experiencia adquirida junto con las situaciones enfrentadas, siendo beneficioso su uso para futuros investigadores y desarrolladores que deseen seguir las líneas futuras propuestas en esta tesis.

8.2.1. Líneas futuras de investigación y desarrollo

Es posible continuar y desarrollar más la Tesis mostrada en este documento, pues existen vacíos causados por unos requisitos no excesivamente elevados para acercar el nivel de esfuerzo al de un Trabajo de Fin de Grado.

Dado que tras comentar los datos de la transmisión se ha visto que no son muy buenos, se permite una continuación en este aspecto que mejore las prestaciones aplicando distintas modulaciones y métodos de sincronización entre emisor y receptor. Esta dirección lleva asociada la necesidad de desarrollar a la par la parte de recepción. Con esta proposición se puede contemplar la fusión de las estaciones terrestres para transmitir y recibir en una sola, de forma que se realice la transmisión en paralelo con la captura de tráfico. También cabe la posibilidad de aplicar modelos de pérdidas con el objetivo de investigar la implementación sobre un hardware más avanzado y casos reales.

Otra forma de progresar a partir de la terminación de todo el trabajo es la creación de nuevos servicios que incrementen las funciones de a bordo en el satélite y con ello las posibilidades de comercialización de la aplicación. Indirectamente, esto implica un rediseño de telecomandos y posiblemente de la cabecera, siempre siguiendo el estándar [1]. Las propuestas de desarrollo más directas en este aspecto son la diferenciación segura de usuarios con distintos niveles de autoridad sobre el satélite, e identificación de cada estación base. La primera puede implementarse únicamente en tierra y aplicando distintos credenciales, pero también requerirá conocimientos de cifrado y descifrado que permitan alcanzar una seguridad elevada. En cuanto a la segunda, sería conveniente hacer una distribución geográfica de estaciones base y asignar un número a cada posición, lo cual se puede automatizar si el proyecto se traslada a un sistema con localización GPS.

Finalmente, existe un vacío que reside en la gestión de memoria en la estación de Tierra y que queda a cargo de LabVIEW, dependiendo de la optimización que pueda llegar a alcanzar este programa. Con el propósito de controlar de primera mano los recursos necesarios, la mejor opción para implementarlo es cambiar la aplicación a otra herramienta o lenguaje de programación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Requirements & Standards Division, *Ground systems and operations – Telemetry and telecommand packet utilization*, ECSS, Ed. Noordwijk, The Netherlands, 2003.
- [2] Shanton, J.L., "A software defined radio transformation," in *Military Communications Conference, 2009. MILCOM 2009. IEEE* , vol., no., pp.1-5, 18-21 Oct. 2009
- [3] Mitola, J., III, "Software radios: Survey, critical evaluation and future directions," in *Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE* , vol.8, no.4, pp.25-36, April 1993
- [4] Arthur C. Clarke, "Extra-Terrestrial Relays: Can Rocket Stations Give World-wide Radio Coverage?," *Wireless World, Radio and Electronics*, vol. LI, no. 10, pp. 305-308, Octubre 1945.
- [5] Walter A. McDougall, "Sputnik, the Space Race, and the Cold War," *The Bulletin of the Atomic Scientists*, vol. 41, pp. 20-25, Mayo 1985.
- [6] Varsha Agrawal and Anil Maini, *Satellite Technology: Principles and Applications.*: John Wiley & Sons, 2014.
- [7] EPIQ Solutions. Hoja de especificaciones de Matchstiq s10. [Online]. http://epiqsolutions.com/matchstiq/matchstiq_s10_flyer.pdf [Último Acceso Septiembre 2015]
- [8] National Instruments. Hoja de especificaciones de NI USRP-292x/293X. [Online]. <http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-355> [Último Acceso Septiembre 2015]
- [9] GNU Radio. GNU Radio Companion. [Online]. <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/GNURadioCompanion> [Último Acceso Septiembre 2015]
- [10] National Instruments. LabVIEW. [Online]. <http://www.ni.com/labview/buy/esa/> [Último Acceso Septiembre 2015]
- [11] MathWorks. Productos y Servicios - MATLAB y Simulink. [Online]. http://es.mathworks.com/products/?s_tid=gn_ps [Último Acceso Septiembre 2015]

Septiembre 2015]

- [12] CNAF. (2013) Atribuciones de frecuencias. [Online]. <http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/CNAF/cuadroAtribuciones2013.pdf> [Último Acceso Septiembre 2015]
- [13] Instituto Nacional de Estadística. [Online]. <http://www.ine.es/> [Último Acceso Septiembre 2015]
- [14] José Rafael Lajara Vizcaíno and José Pelegrí Sebastián, *LabVIEW Entorno gráfico de programación.*: Marcombo, 2007.
- [15] Comunidad de NI. [Online]. <http://www.ni.com/community/esa/> [Último Acceso Septiembre 2015]
- [16] NI USRP Configuration Utility. [Online]. <http://www.ni.com/download/ni-usrp-1.2/3696/en/> [Último Acceso Septiembre 2015]
- [17] Packet-based Digital Link. [Online]. <https://decibel.ni.com/content/docs/DOC-18801> [Último Acceso Septiembre 2015]
- [18] Agencia Tributaria. Rendimiento de actividades económicas en el IRPF. [Online]. <http://www.agenciatributaria.es/AEAT.internet/Inicio/ Segmentos /Empresas y profesionales/Empresarios individuales y profesionales/Rendimientos de actividades economicas en el IRPF/Regimenes para determinar el rendimiento de las actividades economicas/> [Último Acceso Septiembre 2015]
- [19] Comprar USRP-2920. [Online]. <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/212995> [Último Acceso Septiembre 2015]
- [20] (2014, Noviembre) Nuevos Tipos impositivos en el IVA. [Online]. http://www.agenciatributaria.es/static_files/AEAT/Contenidos Comunes /La Agencia Tributaria/Segmentos Usuarios/Empresas y profesionales/ Novedades IVA 2012/Nuevos tipos IVA es es.pdf [Último Acceso Septiembre 2015]

ANEXO I – EXTENDED ABSTRACT / RESUMEN EXTENDIDO

English version

The field of telecommunications has progressed to a point in which what could seem as fiction half a century ago has become reality. This progress has lead ways to simplify the physical components, and thus reduce the size and specific functions of the hardware employed in the different applications, deriving in an increase of the functions assigned to the software. For this matter, and because of the versatility that bring up the implementation of radio transmission and receiving through programming, the SDR platforms have risen up. These platforms have reached the households, thanks to companies devoted to its commercialization, and showing utilities from simple radio signal receiving till Smartphone applications.

Even if it's true that the economic situation of the companies of the new technologies sector is overtaking the global economic crisis, innovation and market pace have allowed to avoid stagnation in a high extent and to foster development. Either way, a technological disruption would not have a negative impact on SDR, on the contrary, it would improve the applications based on those platforms.

This Thesis focuses on the simulation of EGSE emitting equipment, able to send information and instructions to a peer of the OBDH kind. This dives right into the satellite field (controlled from Earth) and its applications. The simulation of this equipment leaves the base of radio communication, radio transceivers, on a second level where we use software already implemented. Equally, there is a EGSE equipment in charge of receiving the information transmitted from the OBDH. Finally we face a scenario (figure 43) where a ground and an orbital station partake, and the first isolates the transmitting and receiving functions although simultaneously controlled by a single user.

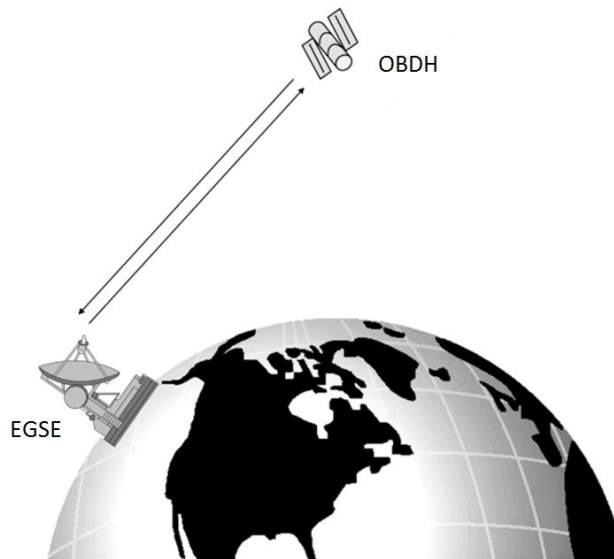


Figura 43 Global scenario (Source: [6] – figure 8.1 edited) / Escenario global (Fuente: [6] – figura 8.1 editada).

The shown scene does not only consist on message sending, but also on those messages having an assigned function that generate changes on the overall status of the system. For this to be possible, the right tools and peripherals have to be chosen. National Instruments provides a complete workbench, as it includes a graphic programming tool, **LabVIEW**, prepared for its own hardware, **USRP**. As for the peripheral, the USRP-2920 has been elected, which offers suitable features at a reasonable price comparing to others, as for example the Matchstick s10. Regarding the tool, the LabVIEW 2011 version is available; this version is advanced enough to develop the aimed implementation, and works with virtual tools. It is possible to develop in other frameworks (GNU Radio Companion) or programming languages (C/C++), but LabVIEW provides USRP specific functions as well as new programming methods for the training of the developer. As assistance, there is a National Instruments community where the users of the tool can help each other.

The problem set out adds a new vision to radio communication, which is space communication. In this sense, the solution will be developed from scratch, but taking advantage of standard recommendations brought by the regulation entities. The ECCS is the one on charge in this case, and provides the necessary base [1] to start the design of the communication. Two concepts should be pointed out: telecommand and telemetry, the first related to the messages transmitted from the EGSE to the OBDH, and the later for the ones in reverse direction. Thus, the telecommand and telemetry messages are similar but contain different functions.

Before tackling with design, there is a constraint to take into account. The frequency employed to transmit and receive signals must be free of interference. In order to ensure this situation, the documentation provided by CNAF [12] has to be

review to check every frequency assigned to the applications. Within the band division carried out by the entity, the application to be developed will be able to transmit within the band of 460 and 890 MHz.

With this assumption, the work seeks for a high quality system that can accurately represent a real scenario. In order to set a path, some prerequisites have been established to implement the work as:

- a simple and functional transmission;
- various realistic services;
- simple and intuitive user interface;
- session log in that restricts the use of the application;
- activity log for security and efficiency matters.

To fulfil those conditions, some virtual components have been encapsulated on one another, in charge mainly of data transformation and file management.

During the development of the first requisite, a work published in the LabVIEW community [17] has been taken as basis, and later adapted to the specific needs of the work. The most suitable transmission frequency has to be chosen. Based on the established thresholds to choose the frequency and taking into account average values, the **650 MHz** frequency has been chosen (that keeps a 50 MHz margin with the receiving signal of 600 MHz). After various tests, no interferences show up beyond a little constant noise with no effect on communication. This frequency is applied to a **BPSK** modulation. Additionally, packet structures have been established for the telecommands, with a variable field for each one, splitting the packet in: *packet header*, *data header* and *application data*.

The standards have guided every work for the implementation of the services. Not every recommendation has been followed, as they suggested a large field that required a much more complex implementation to be used. In the complete system, **11 services** have been implemented, among which a single service does not contain telecommands. The remaining ten services:

- Service 3: provides to ground important operational information, as the temperature of the satellite and the devices connected to it.
- Service 5: allows the user to manage events of different severity (the on board system takes measures on its own if necessary).
- Service 6: is in charge of the management of the on board memory, and allows to download information or save it in the satellites internal memory.
- Service 9: manages the on board time, allowing to modify the time if needed.
- Service 11: provides the ability to execute orders on a given date by the use of a scheduler.

- Service 12: offers the possibility to control on board parameters related to the controls settled by the earth system, informing the user of any transition.
- Service 15: executes connection testing.
- Service 32: controls and informs about the temperature sensors added to the satellite.
- Service 64: is similar to the later, but controls the image device.
- Service 128: is in charge of restarting the system.

Each service includes different telecommands, that vary in size and that can have a correspondence to similar ones from the standard due to the addition of special services (32, 64 and 128).

Once the second requisite completed, the third one is tackled. All of the above has caused the screen visible to the user to be full of entrances and selectors. To solve this chaos, the services have been sorted in tabs, allocating in each on the proper entrances. A descriptive element has been added to each command, so as to accelerate the selection process of the proper telecommand.

As in any graphic interface, anomalous behaviours from the users have been inferred, to take into account every possible data record options and restricting them to correct values. The record of dates require in this sense of special attention. In turn, the design provided by LabVIEW provides a sense of order and the perception of a real application. Additionally, sounds have been added to facilitate a direct experience with the simulated scenario. Another detail is the use of colour palettes, led lightning and customized buttons. As a whole these allow to avoid a rudimentary interface.

The next requisite to be accomplished is to restrict the employment of the application by requesting credentials. This has been implemented with the use of pop ups, that need to be completed to start controlling the ground station. Every action within the application will be registered and shown on screen, as well as the information sent on every packet. The selected method to store the information is a text file with the current date on the name, and the date and time in every line representing activity.

As final result, we have an application where after an initialization phase the user provides its credentials and he can use a pleasant and intuitive interface. All the VIs created in this project are represented hierarchically in the figure 44.

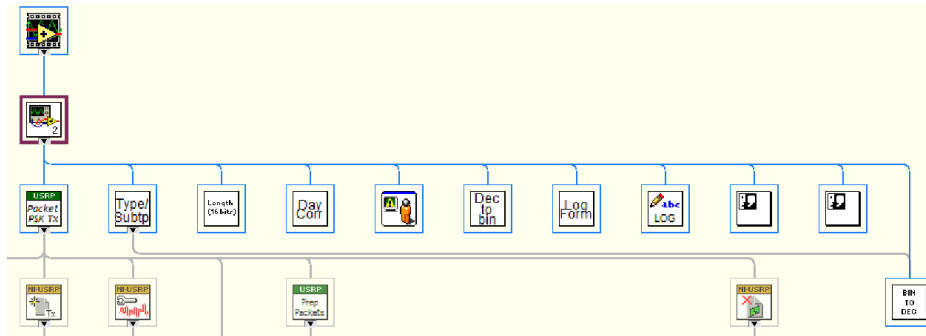


Figura 44 VIs hierarchy / Jerarquía de VIs

There are some aspects not treated in this version, as the use of decimal numbers for time units. The utilization of some fields on the headers has been left for following enhancements on this project. As it has also been mentioned, some recommendations of the standards have not been employed, so as some services could be improved. The cause of these decisions have been previously explained, and are due to its difficult (and in some cases abstract) final solution.

Based on this lacks of the implementation, some improvements are suggested for future Thesis works on this project, as merging all the hereby exposed with the reception side. It also stands out the possibility of using a GPS equipped USRP, and increase the application data of each command to be able to increase the functionality of the services. Finally, it is interesting to modify the access restrictions creating a hierarchy with a secure user authentication, which would allow the commercialization for the use of some specific services.

Changing to the standpoint of a final user, it is time to execute tests taking all previous considerations into account. The first test is the transmission of every packet verifying its correct reception, so as to determine how many telecommands need to be sent for one to be correctly received. After testing a representative number of times, the result is that **1,12** packets need to be sent to get **1** received (an acceptable but not good result), that has not been solved modifying the transmission parameters.

The second test consists on the generation of packets, reviewing the correct completion of the fields. This test has allowed solving some errors in the telecommands to reach an optimal functioning of the implemented services.

The third and last test has focused on the log in to the application and the registration of the activity, which are more focused on the user interaction. Once again, the tests have been decisive to solve some issues in the application, as failures with the sounds, or an incorrect representation of the registered activity. It has also helped to implement a correct initialization of values. All the tests are showed in the table 9.

Tabla 9 Tests results

| Test | Outcome | Solution | Conclusion |
|--|------------------------------|--|------------|
| Transmission Generation of packets | Success: 89,25 % | - | Acceptable |
| | Some service's errors | Service 11: reassign data entries | Good |
| Users access and activity log | 1. Audio error | 1. Change audio file and edit its path | Good |
| | 2. Initialization error | 2. Initialize to an empty value. | |
| | 3. Activity log format error | 3. Delete repeated information | |

Once the testing completed, the planning has been shown, with all the required activities grouped in four blocks:

- 1 - **Documentation:** includes all the activities related to the research and formation, and reading of relevant documents.
- 2 - **Execution:** covers from the requirement specification till the final implementation.
- 3 - **Testing and conclusions:** involves all the activities mentioned in the previous paragraphs.
- 4 - **Statement:** regards the writing and review of the present Thesis

These blocks have been fulfilled in **188 working days** of **4 hours** each, where the execution phase has been the one requiring the highest effort.

Focusing on the economic aspect, the direct costs have reached **100.961,49 €**, that after overheads and VAT increases to **146.596,08 €**. This result is reached after accounting three students (40€/h) and a tutor (80€/h) as personnel, plus the materials composed of *2 laptops, 1 computer, 3 USRP and 1 LabVIEW license*.

As a culmination of the Thesis, it is necessary to draw conclusions of the developed work. At the inception of the project some prerequisites had been settled, that have been almost completely achieved, with the exception of the transmission that has not been hereby implemented. The percentage of success on the transmission of a packet is 89.25%, a result considered as acceptable but not good. The sole possibility to improve this ratio is the use of the implemented packet repetition function, which has not been implemented in the reception of the orbital station due to workload reasons.

Every other condition is successfully achieved (table 10), thanks to the different points of view provided through its development and the pertinent tests. In addition, the personal contributions have to be taken into account, as the originality, the

design of the telecommands and headers, and the efficient management of the resources.

Tabla 10 Satisfaction level.

| Condition / Goal | Satisfaction level 1-5 |
|---|-------------------------------|
| Transmission | Effectiveness: 3 Header: 5 |
| Services | 5 |
| Graphic Interface | 5 |
| User log | 5 |
| Activity log | 5 |
| Teaching | 5 |
| Consistent and detailed solution | 5 |

Finally, the gaps of the project have been analysed and future lines of research recommended. As for the first, it considers a continuation on this field merging transmission and reception in a single VI and applies losses to increase efficiency. The second proposal includes other fields, as cryptography to create a user hierarchy, or aerospace fundamentals needed to design new services. At least, the possibility to migrate the EGSE simulator to a thicker tool or a programming language that allows managing memory resources is suggested.

Versión en español

El campo de las telecomunicaciones ha avanzado hasta un punto en el que la ficción de hace medio siglo se ha hecho realidad. Este progreso ha llevado a buscar formas de simplificar las componentes físicas y con ello reducir el tamaño y las funciones específicas del hardware empleado en las distintas aplicaciones, y es por eso que ha derivado en un incremento de las funciones atribuidas al software. Por este motivo y por la versatilidad que proporciona implementar elementos de transmisión y recepción radio mediante su programación, surgieron las plataformas SDR. Dichas plataformas han llegado hasta los hogares gracias a empresas que se dedican a su comercialización, y su utilidad va desde simples receptores de emisoras de radio hasta incorporar las aplicaciones en un Smartphone.

Si bien es cierto que todavía la situación económica de las empresas del sector de las nuevas tecnologías está superando la crisis económica global, la innovación y el

ritmo del mercado han permitido evitar en gran medida el estancamiento y propiciar su desarrollo. Asimismo, un salto tecnológico no tendría un efecto negativo sobre SDR, al contrario, mejoraría las aplicaciones de este tipo de plataformas.

Este trabajo centra su punto de mira en la simulación de un equipo EGSE emisor capaz de enviar información e instrucciones a otro del tipo OBDH. Esto entra de lleno en el mundo de los satélites (controlados desde tierra) y sus aplicaciones modernas. La simulación de este equipo implica que la base de la comunicación radio, la creación de transceptores radio, pase a un segundo plano y se recurra a un software que la implemente. Igualmente, existe un equipo EGSE encargado de la recepción de la información transmitida desde el OBDH. Finalmente nos encontramos ante un escenario (figura 43) en el que participa una estación terrestre y una estación orbital, donde la primera separa las funciones de transmitir y recibir aunque se controlan de forma simultánea por un usuario.

La escena que se muestra no solo consiste en mandar mensajes, también en que esos mensajes tengan una función adjudicada y produzcan cambios de estado en el sistema global. Para que esto sea posible, hay que escoger la herramienta y los periféricos adecuados. La empresa National Instruments proporciona un entorno de trabajo completo, pues dispone de una herramienta gráfica de programación, **LabVIEW**, preparada para su propio hardware, **USRP**. Para el periférico se ha optado por el modelo USRP-2920, el cual ofrece unas prestaciones adecuadas a un precio razonable en comparación con otros como el Matchstick s10. En cuanto a la herramienta, se dispone de la versión LabVIEW 2011, versión suficientemente desarrollada para poder realizar la implementación deseada y que trabaja con “instrumentos virtuales”. Es posible desarrollar la aplicación con otros entornos (GNU Radio Companion) o lenguajes de programación (C/C++), pero LabVIEW aporta funciones específicas para el USRP, así como nuevos métodos de programación para la formación del desarrollador. Como apoyo, existe una comunidad de National Instruments donde usuarios de la herramienta se ayudan entre sí.

El problema planteado añade otra visión más a la comunicación radio, la de la comunicación espacial. En este aspecto se va a partir desde cero aunque con la recomendación de estándares proporcionados por entidades reguladoras. La ECSS es la encargada en este caso, y aporta la base necesaria [1] para comenzar el diseño de la comunicación. Caben destacar dos conceptos: telecomando y telemetría, el primero hace referencia a los mensajes transmitidos de EGSE a OBDH, mientras que el segundo a los mensajes transmitidos en sentido contrario. Así pues, los mensajes de telecomando y de telemetría conservan cierto parecido pero tienen funciones distintas.

Antes de abordar el diseño, existe una restricción a tener en cuenta. La frecuencia empleada para transmitir y recibir debe estar libre de interferencias. Con la

intención de asegurar esta situación, se debe revisar la documentación que aporta la CNAF [12] para comprobar todas las frecuencias asignadas a cada aplicación. Dentro de la división por bandas que realiza la entidad, la aplicación que se está a punto de desarrollar va a poder transmitir en frecuencias dentro de las bandas entre 460 y 890 MHz.

Supuesto esto, se busca el desarrollo de un sistema de calidad que represente fielmente lo que podría ser un escenario real. Con el fin de marcar un rumbo al comienzo se han establecido unos requisitos que consisten en la implementación de:

- una transmisión sencilla y funcional;
- varios servicios realistas;
- una interfaz de usuario sencilla e intuitiva;
- inicio de sesión que restrinja el uso de la aplicación;
- un registro de actividad por seguridad y eficiencia.

Para satisfacer esas condiciones, se han encapsulado unos instrumentos virtuales dentro de otros, encargados principalmente de transformaciones de datos o control de archivos.

Durante el desarrollo del primer requisito, se toma como base un trabajo obtenido en la comunidad de LabVIEW [17] y se ajusta a las necesidades esbozadas. También se debe escoger una frecuencia de transmisión adecuada. Partiendo desde los límites que disponemos para seleccionar una frecuencia de transmisión y cogiendo valores intermedios, se ha elegido la frecuencia de **650 MHz** (guarda un margen de 50 MHz con respecto a la de recepción, 600 MHz). Tras varias pruebas, no se aprecian interferencias más allá de un pequeño ruido constante que no afecta a la comunicación. Esta frecuencia se aplica a una modulación **BPSK**. Además, se han establecido estructuras de paquete para los telecomandos con un campo variable para cada uno, separando el paquete en: cabecera de paquete, cabecera de datos y datos de aplicación.

En la implementación de los servicios se ha trabajado con el estándar siempre presente. Ciertas recomendaciones no se han seguido, pues sugerían un campo muy grande que para ser utilizado requería de una implementación más compleja. En el sistema completo se han desarrollado **11 servicios** de los cuales uno (el servicio 1) no contiene telecomandos. De los 10 restantes:

- Servicio 3: proporciona a tierra información operacional de importancia, como lo es la temperatura del satélite y los dispositivos conectados a este.
- Servicio 5: permite al usuario la gestión de eventos de diferente gravedad (el sistema de a bordo toma medidas de forma independiente si es necesario).
- Servicio 6: se encarga de la gestión de la memoria de a bordo, y permite descargar información o guardarla en la memoria interna del satélite.

- Servicio 9: es utilizado para la gestión del tiempo de a bordo, dando la posibilidad de cambiar la hora.
- Servicio 11: proporciona la oportunidad de ejecutar órdenes en una fecha determinada haciendo uso de un planificador.
- Servicio 12: ofrece la posibilidad de controlar parámetros de a bordo con respecto a los controles definidos por el sistema de tierra, informando al usuario de cualquier transición.
- Servicio 15: solo realiza un test de conexión.
- Servicio 32: es idéntico al anterior pero controla el dispositivo de imágenes incorporado.
- Servicio 64: es idéntico al anterior pero controla el dispositivo de imágenes incorporado.
- Servicio 128: es el encargado de reiniciar el sistema.

Cada servicio incluye diferentes telecomandos, los cuales varían en tamaño y pueden corresponderse o no con otros similares del estándar debido a la adición de servicios especiales (32, 64 y 128).

Completado el segundo requisito, se procede a avanzar en el tercero. Todo lo anterior ha provocado que el panel visible por el usuario contenga un gran número de entradas y selectores. Para solucionar todo ese caos, se han organizado en pestañas todos los servicios, y en cada una se han situado las entradas correspondientes. Se ha añadido un elemento descriptivo para cada comando, pensado para agilizar el proceso de selección del telecomando adecuado.

Como toda interfaz gráfica, se ha intuido comportamientos anómalos en el usuario para contemplar todas las opciones de introducción de datos posibles, y así limitarlas a valores correctos. Se requiere especial atención en la introducción de fechas. A su vez, la decoración que facilita LabVIEW permite dar una sensación de orden y de ser una aplicación real. Además, se han incorporado sonidos que favorecen una experiencia directa con el escenario simulado. Otro detalle es el uso de colores, iluminación led y botones personalizados. Todo esto consigue evitar una interfaz rudimentaria.

El siguiente requisito que se debe trabajar es la restricción del uso de la aplicación mediante la petición de credenciales. Esto se ha implementado con ventanas emergentes que son necesarias superar para comenzar a controlar la estación terrestre. Cada acción dentro de la aplicación va a quedar registrada y se mostrará en pantalla, así como la información enviada con cada paquete. La forma escogida para almacenar la información es en un documento de texto con la fecha actual en el nombre, y la fecha junto con la hora en cada línea representativa de una actividad.

Como resultado final, tenemos una aplicación que dispone de un tiempo de inicialización que tras completarse el usuario puede introducir sus credenciales y hacer uso de una aplicación con interfaz intuitiva y agradable a la vista. Los VI creados en para el proyecto están representados jerárquicamente en la figura 44.

Ante esta versión definitiva, hay aspectos que no se han considerado, como lo son aplicaciones de números decimales para unidades de tiempo. La utilización de algunos campos de las cabeceras se ha dejado de lado para posteriores mejoras sobre este proyecto. También se ha mencionado el no uso de las recomendaciones del estándar, lo que supone que los servicios podrían mejorarse. La justificación de estas decisiones ya se ha comentado anteriormente, y reside en la difícil (y en algunos casos abstracta) solución final.

En base a esas ausencias en la implementación, se proponen algunas mejoras para futuras tesis sobre este proyecto, como fusionar todo lo que aquí se ha mostrado con la parte correspondiente a la recepción. También se destaca la opción de usar un USRP con GPS y ampliar los datos de aplicación de cada comando con la intención de poder ampliar la funcionalidad de los servicios. Por último, es interesante modificar la restricción de acceso y crear una jerarquía con identificación segura de usuarios, lo que permitiría una comercialización para la utilización de servicios específicos.

Cambiando el punto de vista de desarrollador a usuario final, llega el momento de realizar pruebas teniendo en cuenta las consideraciones anteriores. La primera prueba es la transmisión de cualquier paquete buscando su correcta recepción, para así determinar cuántos telecomandos son necesarios enviar para que llegue uno correctamente. Tras probar un número representativo de veces, se ha obtenido que sea necesaria la transmisión de **1,12** paquetes para poder recibir **1** (resultado aceptable, no bueno), lo que no se ha podido solucionar tocando parámetros de transmisión.

La segunda prueba ha consistido en la formación de paquetes, revisando si todos los campos eran correctos. Esta prueba ha servido para solucionar fallos en algunos telecomandos y alcanzar un funcionamiento óptimo de los servicios implementados.

La tercera y última prueba que se ha llevado a cabo se ha centrado en la forma de entrar en la aplicación y el registro de actividad, las cuales son secciones más orientadas al trato con el usuario. Otra vez, las pruebas han sido determinantes para solucionar errores en la aplicación, como fallos con la reproducción de sonido o la incorrecta representación de la actividad registrada. También han ayudado a implementar la correcta inicialización de valores.

Tabla 11 Resultados de las pruebas.

| Prueba | Resultado | Solución | Conclusión |
|--|--|---|------------|
| Transmisión | Porcentaje de éxito: 89,25 % | - | Válido |
| Formación de paquetes | Algunos errores en los servicios | Servicio 11: reasignar las entradas de datos | Bueno |
| Acceso de usuarios y registro de actividad | 4. Error de audio 5. Error de inicialización 6. Error de formato del registro de actividad | 4. Cambiar archivo de audio y editar la ruta 5. Inicializar a un valor vacío 6. Eliminar información repetida | Bueno |

Una vez terminadas las pruebas, se ha representado la planificación con todas las actividades requeridas agrupadas en 4 bloques:

- 5 - **Documentación:** engloba todas las actividades relacionadas con la búsqueda de documentos y su lectura.
- 6 - **Ejecución:** abarca desde la definición de los requisitos hasta la última implementación realizada.
- 7 - **Pruebas y conclusiones:** formado por las acciones descritas en los párrafos anteriores.
- 8 - **Memoria:** conlleva la escritura y revisión de la presente tesis.

Estos bloques se han completado en **188 jornadas de 4 horas** donde el bloque que ha requerido más horas ha sido el de ejecución.

Atrayendo la atención sobre la parte económica, los costes directos resultan de **100.961,49 €**, al que tras aplicarle los costes indirectos y el IVA se incrementa hasta **146.596,08 €**. A este resultado se llega contabilizando en personal a tres alumnos (40 €/h) y un tutor (80 €/h), más los materiales formados por *2 portátiles, 1 ordenador, 3 USRP y 1 licencia* de LabVIEW.

Como culminación, es necesario establecer las conclusiones sobre el trabajo desempeñado. Al principio del desarrollo se establecieron unos requisitos, y ahora vemos que se han cumplido casi totalmente, a excepción de la parte de transmisión que no se ha implementado aquí. Esta sección se ha comentado que tiene un porcentaje de éxito en la transmisión de un paquete del 89,25%, resultado que se considera como válido pero no bueno. La única posibilidad de mejorar ese ratio es hacer uso de la función implementada de repetición de paquetes, pero que por motivos de una carga de trabajo elevada no se implementa en la recepción de la estación orbital.

El resto de condiciones y objetivos se cumplen satisfactoriamente debido al empleo de diferentes puntos de vista durante su desarrollo y las pruebas correspondientes. Además, se deben considerar las aportaciones personales, como la originalidad, diseño de los telecomandos y sus cabeceras, y la gestión eficiente de recursos.

Tabla 12 Nivel de satisfacción.

| Condición / Objetivo | Nivel de satisfacción 1-5 |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| Transmisión | Efectividad: 3 Cabecera: 5 |
| Servicios | 5 |
| Interfaz | 5 |
| Inicio de sesión | 5 |
| Registro de actividad | 5 |
| Docente | 5 |
| Solución coherente y detallada | 5 |

Finalmente, se han analizado los vacíos del proyecto y recomendado futuras líneas de investigación y desarrollo. La primera conlleva seguir en el mismo campo y unificar transmisión y recepción en un solo VI y aplicar pérdidas para mejorar la eficiencia. La segunda propuesta incluye otros campos, como la criptografía para crear una jerarquía de usuarios, o fundamentos aeroespaciales necesarios para diseñar nuevos servicios. Y por último, se plantea la posibilidad de trasladar el simulador de EGSE a otra herramienta más ligera o a un lenguaje de programación que permita gestionar los recursos de memoria.

ANEXO II – SERVICIOS

Los servicios aquí descritos han sido implementados para el proyecto global, y se incluye una lista de todos los paquetes que se emplearán durante la ejecución del sistema, ya sean de telecomandos o telemetría.

Servicio 1: Verificación de telecomandos

El servicio de verificación de telecomandos ofrece la posibilidad de verificar explícitamente cada estado de ejecución de un paquete de telecomando, desde la aceptación de a bordo hasta su completa ejecución, y por lo tanto sólo engloba paquetes de telemetría. En ese sentido, es un servicio secundario para los telecomandos pertenecientes a otros servicios.

Los paquetes de telemetría que pertenezcan al servicio de verificación de telecomandos sestarán designados con *Service Type* = 1.

Servicio 3: Housekeeping y diagnóstico de datos

Este servicio, junto con el servicio de eventos, proporciona informes a tierra de toda la información operacional de importancia que no se proporciona explícitamente en otros servicios. Todos los números de proceso de aplicación de a bordo para el servicio deben ser únicos.

Los paquetes de telemetría y telecomandos que pertenezcan al servicio de verificación de telecomandos sestarán designados con *Service Type* = 3.

Servicio 5: Eventos

Este servicio permite transmitir al usuario del servicio información operacional de importancia la cual no se incluye en otros servicios con informes generados en el sistema de a bordo. El servicio cumple los requisitos del informe de eventos:

- a. Informar de fallos o anomalías detectadas a bordo;
- b. Informar de acciones autónomas de a bordo;
- c. Informar del progreso normal de operaciones y actividades.

Todos los números de proceso de aplicación de a bordo para el servicio deben ser únicos.

Los paquetes de telemetría y telecomandos que pertenezcan al servicio de verificación de telecomandos sestarán designados con *Service Type* = 5.

Servicio 6: Gestión de Memoria

Este servicio se relaciona con el control de varias áreas de memoria (por ejemplo, RAM o unidad memoria interna) existentes a bordo del satélite. El servicio proporciona la posibilidad de cargar, volcar y comprobar los contenidos de áreas de memoria.

Los paquetes de telemetría y telecomandos que pertenezcan al servicio de verificación de telecomandos sestarán designados con *Service Type* = 6.

Servicio 9: Gestión del Tiempo

El servicio de gestión del tiempo hace posible modificar la fecha y la hora de a bordo y solicitar las que está usando el satélite.

Los paquetes de telemetría y telecomandos que pertenezcan al servicio de verificación de telecomandos sestarán designados con *Service Type* = 9.

Servicio 11: Gestión del planificador de telecomandos.

Este servicio proporciona la oportunidad de controlar un proceso de aplicación de a bordo empleando telecomandos precargados a bordo del satélite que se ejecutan a su debido tiempo. Para conseguir esto, el servicio dispone de un planificador de telecomandos y procura la oportuna ejecución de los telecomandos ahí contenidos. Todos los números de proceso de aplicación de a bordo para el servicio deben ser únicos.

Los paquetes de telemetría y telecomandos que pertenezcan al servicio de verificación de telecomandos sestarán designados con *Service Type* = 11.

Servicio 12: Monitorización de a bordo.

El servicio de monitorización de a bordo ofrece la posibilidad de controlar parámetros de a bordo con respecto a los controles definidos por el sistema de tierra, informando al usuario de cualquier transición. El servicio incluye una lista de parámetros que están siendo monitorizados, con la posibilidad de ser añadir o eliminar parámetros, así como la activación o desactivación de la monitorización de la lista. Todos los números de proceso de aplicación de a bordo para el servicio deben ser únicos.

Los paquetes de telemetría y telecomandos que pertenezcan al servicio de verificación de telecomandos sestarán designados con *Service Type* = 12.

Servicio 15: Test de conexión.

El servicio de test permite activar las funciones de test implementadas a bordo y reportar sus resultados. Todos los números de proceso de aplicación de a bordo para el servicio deben ser únicos.

Los paquetes de telemetría y telecomandos que pertenezcan al servicio de verificación de telecomandos sestarán designados con *Service Type* = 15.

Servicio 32: Instrumento sensor de temperatura.

Este servicio hace uso de los sensores de temperatura del satélite y posibilita el envío de mediciones de temperatura sobre el sistema de a bordo.

Los paquetes de telemetría y telecomandos que pertenezcan al servicio de verificación de telecomandos sestarán designados con *Service Type* = 32.

Servicio 64: Instrumento de imágenes.

Este servicio permite controlar el instrumento de imágenes incorporado en el satélite y también la descarga de las fotografías realizadas.

Los paquetes de telemetría y telecomandos que pertenezcan al servicio de verificación de telecomandos sestarán designados con *Service Type* = 64.

Servicio 128: Reiniciar.

El servicio de reiniciar da la posibilidad de restaurar los valores iniciales ante cualquier configuración errónea que se haya podido ejecutar.

Los paquetes de telemetría y telecomandos que pertenezcan al servicio de verificación de telecomandos sestarán designados con *Service Type* = 128.

Lista de telecomandos y telemetría

La tabla 13 resume todos los paquetes que se intercambiarán durante el funcionamiento del sistema y su identificación.

Tabla 13 Resumen de telecomandos y telemetría.

| TC/TM | Tipo | Subtipo | Descripción / Servicio |
|--|------|---------|--|
| Servicio 1: Verificación de telecomandos | | | |
| TM | 1 | 1 | TC acceptance success report |
| TM | 1 | 2 | TC acceptance failure report |
| TM | 1 | 7 | TC execution success report |
| TM | 1 | 8 | TC execution failure report |
| Servicio 3: Housekeeping y diagnóstico de datos | | | |
| TC | 3 | 1 | Clear Housekeeping parameter report definitions |
| TC | 3 | 3 | Enable Housekeeping report generation |
| TC | 3 | 4 | Disable Housekeeping report generation |
| TC | 3 | 5 | Request Housekeeping parameter report generation |
| TM | 3 | 6 | Housekeeping parameter report |

| TC/TM | Tipo | Subtipo | Descripción / Servicio |
|--|------|---------|--|
| TC | 3 | 7 | Update Housekeeping report generation period |
| TC | 3 | 8 | Define Housekeeping report interval |
| TM | 3 | 9 | Housekeeping report interval updated |
| Servicio 5: Eventos | | | |
| TM | 5 | 1 | Normal progress report |
| TM | 5 | 2 | Error/anomaly report – low severity - warning |
| TM | 5 | 3 | Error/anomaly report – medium severity – ground action |
| TM | 5 | 4 | Error/anomaly report – high severity – on-board action |
| TC | 5 | 5 | Enable event report generation |
| TC | 5 | 6 | Disable event report generation |
| TC | 5 | 16 | Clear event log |
| TC | 5 | 17 | Report enabled event packets |
| TM | 5 | 18 | Enabled events packets report |
| TC | 5 | 19 | Report disabled event packets |
| TM | 5 | 20 | Disabled events packets report |
| Servicio 6: Gestión de memoria | | | |
| TC | 6 | 1 | Load data into memory |
| TC | 6 | 2 | Dump memory area |
| TM | 6 | 3 | Memory dump |
| TC | 6 | 4 | Check memory |
| TM | 6 | 5 | Memory Check Report |
| TC | 6 | 16 | Preload ROM data |
| Servicio 9: Gestión del tiempo | | | |
| TC | 9 | 1 | Set OBT |
| TC | 9 | 2 | Request OBT |
| TM | 9 | 3 | Time management |
| Servicio 11: Gestión del planificador de telecomandos | | | |
| TC | 11 | 1 | Enable telecommand schedule |
| TC | 11 | 2 | Disable telecommand schedule |
| TC | 11 | 3 | Reset telecommand schedule |
| TC | 11 | 4 | Insert telecommand in command schedule |
| TC | 11 | 5 | Delete telecommand in command schedule |
| TC | 11 | 6 | Time shift to selected telecommand |
| TC | 11 | 7 | Report subset of command schedule |
| TM | 11 | 8 | Detailed schedule report |
| TC | 11 | 16 | Execution telecommand schedule |

| TC/TM | Tipo | Subtipo | Descripción / Servicio |
|---|------|---------|-------------------------------------|
| Servicio 12: Monitorización de a bordo | | | |
| TC | 12 | 1 | Enable monitoring of parameters |
| TC | 12 | 2 | Disable monitoring of parameters |
| TC | 12 | 4 | Clear monitoring list |
| TC | 12 | 7 | Add parameter to monitoring list |
| TC | 12 | 8 | Delete parameter to monitoring list |
| TC | 12 | 9 | Report current monitoring list |
| TM | 12 | 10 | Current monitoring list report |
| Servicio 15: Test de conexión | | | |
| TC | 15 | 1 | Request connection test |
| TM | 15 | 2 | Connection test report |
| Servicio 32: Instrumento sensor de temperatura | | | |
| TC | 32 | 1 | Switch on instrument |
| TC | 32 | 2 | Switch off instrument |
| TC | 32 | 3 | Change time acquisition interval |
| TC | 32 | 4 | Request time acquisition interval |
| TM | 32 | 5 | Time acquisition interval report |
| TC | 32 | 6 | Update time acquisition interval |
| TC | 32 | 7 | Request data |
| TM | 32 | 8 | Data from instrument |
| TC | 32 | 9 | Abort data transfer |
| TC | 32 | 16 | Test instrument |
| TM | 32 | 17 | Instrument test report |
| TM | 32 | 20 | Transmission aborted |
| Servicio 64: Instrumento de imágenes | | | |
| TC | 64 | 1 | Switch on instrument |
| TC | 64 | 2 | Switch off instrument |
| TC | 64 | 3 | Change time acquisition interval |
| TC | 64 | 4 | Request time acquisition interval |
| TM | 64 | 5 | Time acquisition interval report |
| TC | 64 | 6 | Update time acquisition interval |
| TC | 64 | 7 | Request data |
| TM | 64 | 8 | Data from instrument |
| TC | 64 | 9 | Abort data transfer |
| TC | 64 | 16 | Test instrument |
| TM | 64 | 17 | Instrument test report |
| TM | 64 | 20 | Transmission aborted |

| TC/TM | Tipo | Subtipo | Descripción / Servicio |
|--------------------------------|------|---------|------------------------|
| Servicio 128: Reiniciar | | | |
| TC | 128 | 1 | Reboot |

ANEXO III – MANUAL DE USUARIO

En este manual se pretende ofrecer una guía de usuario para el Simulador de EGSE – telecomandos, donde se asume la previa instalación de LabVIEW y paquetes complementarios y la presencia de un puerto Gigabit Ethernet disponible en el ordenador, así como la utilización de un Sistema Operativo Windows.

Montaje del periférico USRP

Cada kit de USRP (figura 45) dispone del siguiente hardware y complementos:



Figura 45 *Kit USRP.*

- 1 transceptor USRP.
- Cable de alimentación.
- Cable Ethernet azul.
- 1 antena.

En primer lugar, situamos el USRP sobre una plataforma fija y con buena ventilación. Después procederemos a conectar un extremo del cable Ethernet al puerto del USRP y el otro al puerto Gigabit Ethernet del ordenador, y la antena a la salida de transmisión 1. Por último, conectamos el cable de alimentación al periférico y a una conexión de 230V. Así, el USRP debe quedar de la forma que se aprecia en la figura 46.

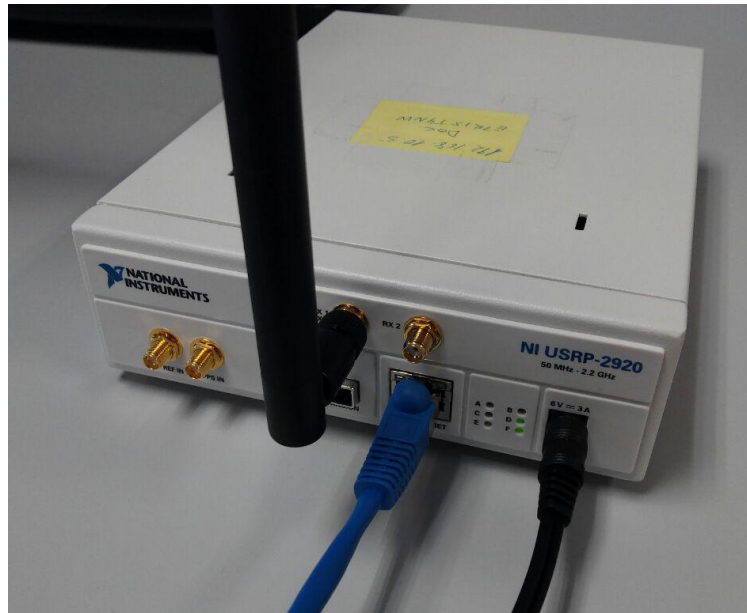


Figura 46 USRP conectado.

Nota: se necesitará saber la IP asignada al USRP, bastará con abrir el programa “NI-USRP Configuration Utility” (figura 47) y apretar el botón *Find Devices*, tras ello y si todo está bien conectado se debería poder ver la dirección IP:

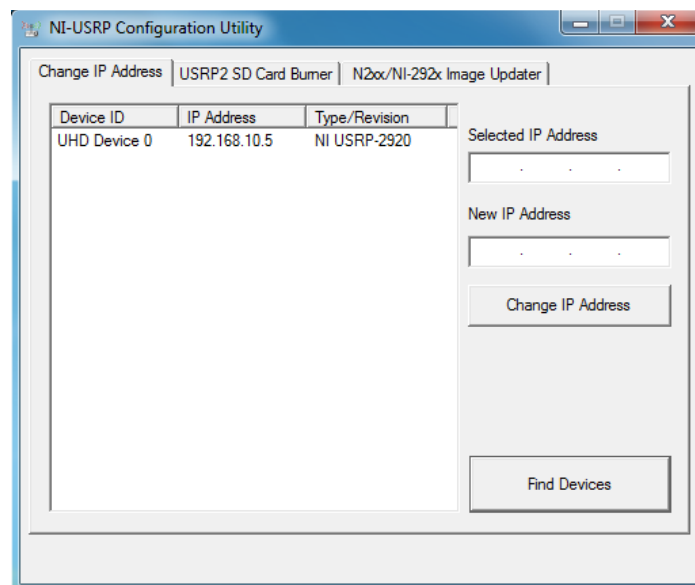


Figura 47 Ventana de NI-USRP Configuration Utility.

Apertura y arranque de la aplicación

Para poder comenzar a usar la aplicación, hay que situarse en la carpeta donde esté almacenada y ejecutar el archivo “main_Ground_tx.vi”, el cual nos abrirá LabVIEW y el panel frontal. Ejecutaremos el programa haciendo clic en el botón con una flecha blanca hacia la derecha situado arriba a la izquierda (figura 48), o mediante el comando “Ctrl” + “R”.



Figura 48 Botones de control de ejecución de LabVIEW.

Una vez ejecutado, aparecerá una pantalla de carga que deberemos esperar hasta que se complete, y acto seguido se solicitarán unos credenciales para poder navegar por la aplicación. Los credenciales que se deberán introducir son: nombre de usuario: “admin”; contraseña: “root”.

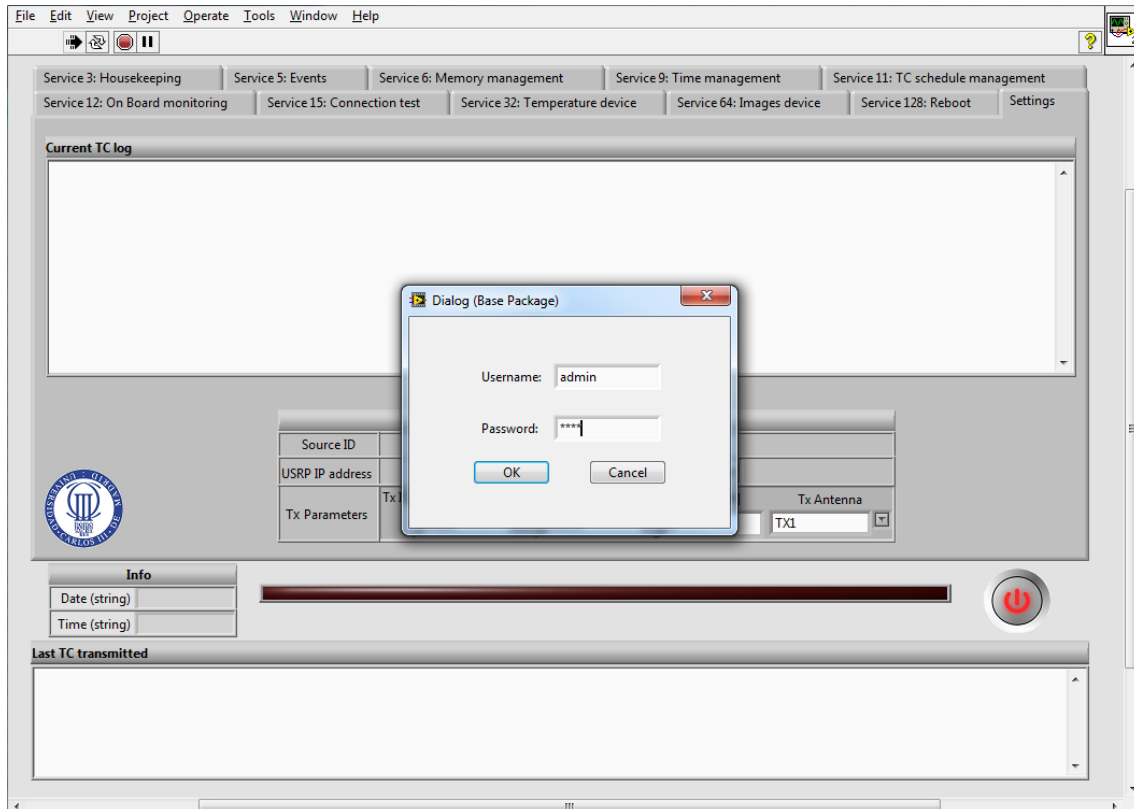


Figura 49 Solicitud de credenciales.

En la ventana de introducción de credenciales (figura 49) hay dos botones, uno para comprobar credenciales y otro para cancelar y cerrar (botones de OK y CANCEL). Si aceptamos y los datos introducidos no son correctos, se nos avisará (figura 50) y volveremos a la ventana anterior.

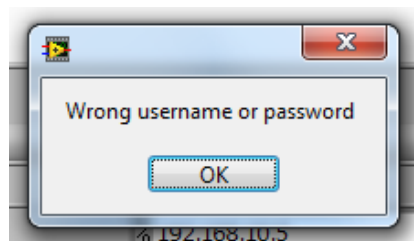


Figura 50 Datos incorrectos.

En caso contrario (figura 51), accederemos a la aplicación y podremos comenzar a utilizarla.

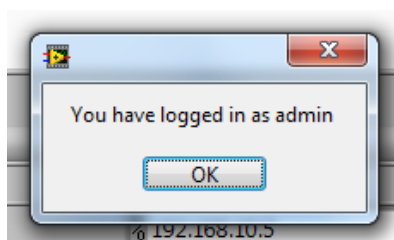


Figura 51 Datos correctos.

Ajustes y registro de la actividad

En primer lugar vamos a centrarnos en la pestaña de ajustes (figura 52), pues es la que se encuentra abierta nada más iniciar:

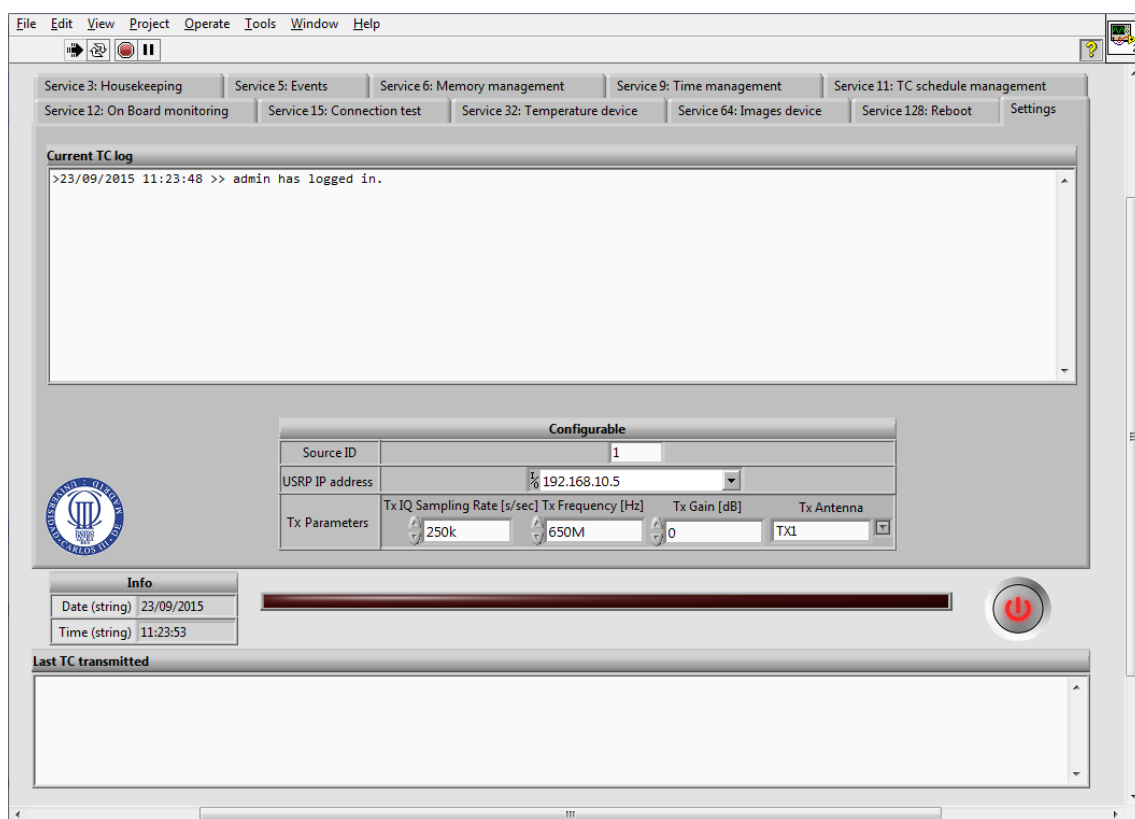


Figura 52 Pestaña de ajustes.

Dentro de esta pestaña disponemos de un cuadro de log y unos datos configurables. En el cuadro de log se registrarán todos los datos de relevancia durante el tiempo que permanezca activa la aplicación, como lo pueden ser errores en la transmisión o los datos de cada paquete enviado, y todo lo que aquí se muestre quedará guardado en la carpeta “Log” en la ruta del proyecto. Los datos configurables tienen varias funciones:

- Source ID: este dato representa el identificador de la estación desde la que transmitimos (valores admitidos: 1-255).
- USRP IP address: aquí se debe introducir la IP del periférico.
- Tx Parameters, estos parámetros son: la tasa de muestras por segundo con la que se va a transmitir (en muestras/segundo), frecuencia de transmisión (en Hz), ganancia de transmisión (en dB), y la antena por la que se transmite (solo hay una para transmisión).

El cuadro de abajo del todo tiene la utilidad de mostrar la última información relevante sin necesidad de acudir a la pestaña de ajustes. Está acompañado de la fecha y hora actual para compararla con la que mostrará, y también por una barra led de color rojo que se iluminará en caso de fallo en la transmisión.

Navegación y envío de mensajes

Para el resto de pestañas que se pueden observar desde la ventana del apartado anterior, cada una representa un servicio del que se hará uso si se encuentra seleccionada (figura 53).

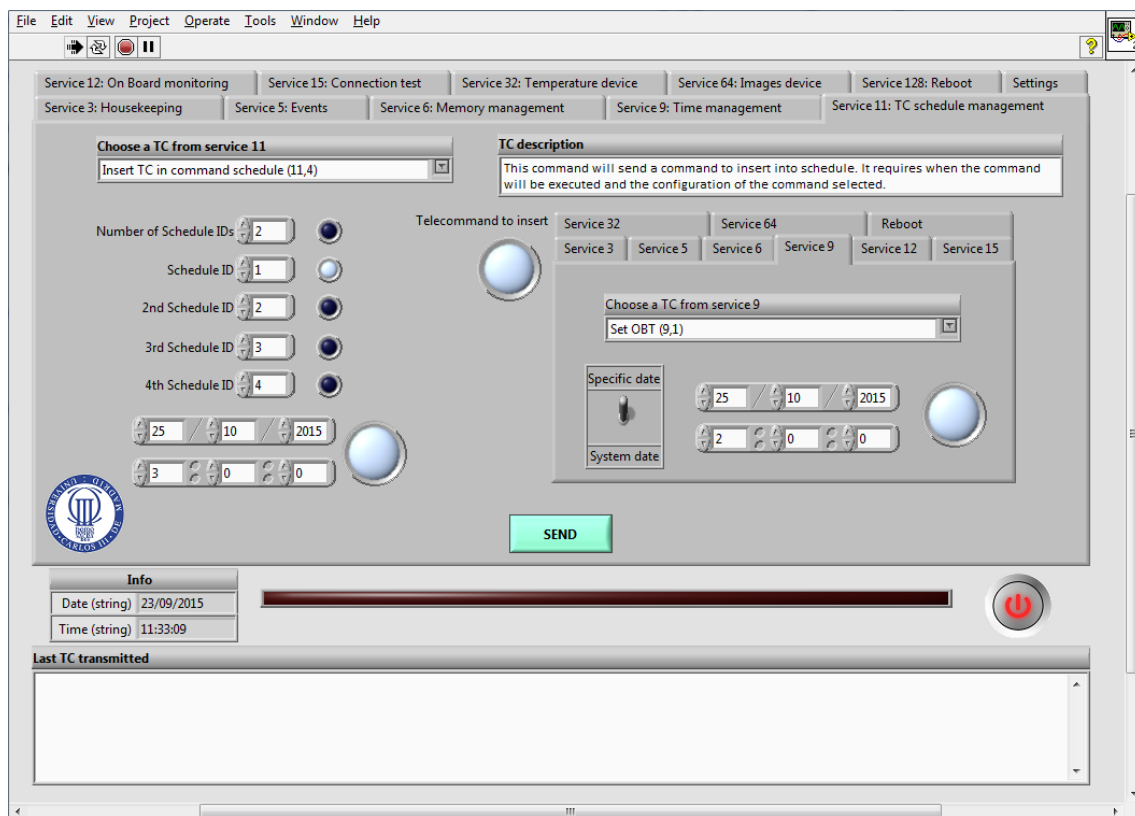


Figura 53 Pestaña del servicio 11.

Para este ejemplo de la figura 53 se encuentra marcado el servicio 11, pero sirve de ejemplo para todos los demás. Ahora bien, dentro de cada servicio, en el cuadro **Choose a TC from service 11** se pueden seleccionar los distintos telecomandos y ver una breve descripción del telecomando seleccionado en el cuadro **TC description**. Para

cada comando se requiere de una configuración que se realiza con los datos y opciones repartidos por la pestaña del servicio. Cada dato viene acompañado de un led que se iluminará de color azul claro cuando sea utilizado por el telecomando elegido. El comando marcado será el que se transmita si se presiona el botón SEND.

Cierre de la aplicación

Finalmente, cuando se tenga intención de parar la ejecución del simulador de EGSE, puede hacerse desde el botón redondo rojo de la figura 48 (detiene la ejecución inmediatamente), o presionando el botón rojo situado a la derecha en la figura 53, que abrirá un diálogo de comprobación para asegurar que realmente se quiere detener la aplicación mostrado en la figura 54.

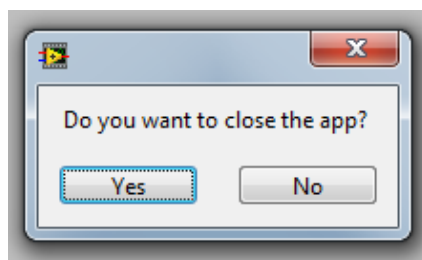


Figura 54 Comprobación de cierre.